

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02F 1/39

H04J 14/02

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00131374.6

[43] 公开日 2001 年 3 月 21 日

[11] 公开号 CN 1288172A

[22] 申请日 2000.8.11 [21] 申请号 00131374.6

[30] 优先权

[32] 1999.8.12 [33] JP [31] 228545/1999

[71] 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川

[72] 发明人 星田刚司 寺原隆文

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

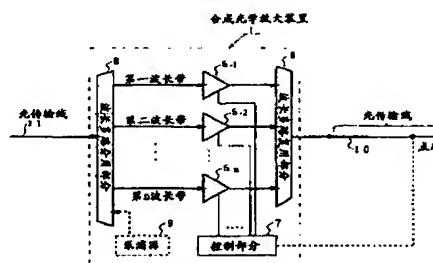
代理人 蒋世迅

权利要求书 6 页 说明书 43 页 附图页数 23 页

[54] 发明名称 光学放大装置、光学发送设备、光传输系统
及光学放大方法

[57] 摘要

本发明提供了多个光学调节部分、波长多路复用部分、及控制部分。该多个光学调节部分,供给相应波长,放大各波长带的光束。波长多路复用部分对各波长带中的放大的光束进行波长多路复用。控制部分控制各光学放大部分的输出,以便在各波长带中的光束的波长多路复用光传到一个预定点时 使该预定点处的各波长带的光功率变得近似相等。这种结构在传输多个波长带的光信号时使它可消除波长带之间的光功率偏差,从而使光学 SNR 均匀。





权 利 要 求 书

1、一种光学放大装置，包括：

提供给相应波长带的多个光学调节装置，用于调节光束的光功率；

5 波长多路复用装置，用于对所述各光学调节装置的输出进行波长多路复用；及

控制装置，用于进行控制以使所述多个光学调节装置中的调节较短波长带的光的光功率的光学调节装置的输出大于所述多个光学调节装置中的调节较长波长带的光的光功率的光学调节装置的输出。

10 2、根据权利要求 1 的光学放大装置，还包括：

波长多路分用装置，用于将输入光波长多路分用成各波长带的光束；及将各波长带的每束光输出到所述的各光学调节装置。

3、根据权利要求 1 的光学放大装置，其特征在于：所述控制装置还控制所述各光学调节装置的输出，以便在该波长多路复用装置的输出光传到一个预定点时使该预定点处的各波长带的光功率变得近似相等。

4、根据权利要求 1 的光学放大装置，其特征在于：所述控制装置还控制所述各光学调节装置的输出，以便在该波长多路复用装置的输出光传到一个预定点时使该预定点处的从所述各波长带的光功率中消除各光学调节装置的噪声功率所得到的功率变得近似相等。

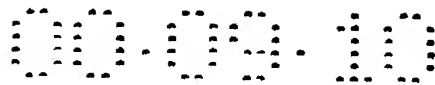
20 5、根据权利要求 1 的光学放大装置，还包括：

一个给所述多个光学调节装置的各输入光束提供光的光源。

6、根据权利要求 2 的光学放大装置，还包括：

一个连接到所述波长多路分用装置以传输所述输入光的光传输线，和一个提供光给所述光传输线的光源。

25 7、根据权利要求 2 的光学放大装置，其特征在于：所述控制装置根据连接到所述光学放大装置的输出侧的光传输线中的受激拉曼散射、所述光传输线中的损耗、所述波长多路分用装置中的损耗和所述波长多路复用装置中的损耗至少之一，确定出调节较短波长带的光的光功率的所述光学调节装置的输出和调节较长波长带的光的光功率的所述光学调节装置的输出之间的差值。



8、根据权利要求 1 的光学放大装置，其特征在于：所述光束是第一波长带中的 WDM 光信号和波长大于第一波长带的第二波长带中的 WDM 光信号，且其中该第一波长带中的 WDM 光信号的信道数被增加或减少。

5 9、根据权利要求 1 的光学放大装置，其特征在于：所述光束是第一波长带中的 WDM 光信号和波长大于第一波长带的第二波长带中的 WDM 光信号，且其中该第二波长带中的 WDM 光信号的信道数被增加或减少。

10、根据权利要求 3 的光学放大装置，还包括：
检测所述预定点处的所述各波长带的所述光功率的检测装置，其中
所述控制装置还根据所述检测装置的输出，控制所述各光学调节装置的
10 输出。

11、根据权利要求 4 的光学放大装置，还包括：
检测所述预定点处的所述各波长带的所述光功率的检测装置，其中
所述控制装置还根据所述检测装置的输出，控制所述各光学调节装置的
输出。

15 12、根据权利要求 10 的光学放大装置，其特征在于：
所述光束是 WDM 光信号，且其中
所述检测装置检测对应于最短波长信道的 WDM 光信号之一的光功率。

13、根据权利要求 11 的光学放大装置，其特征在于：所述光束是 WDM
光信号，且其中
20 所述检测装置检测对应于最短波长信道的 WDM 光信号之一的光功率。

14、根据权利要求 1 的光学放大装置，其特征在于：
所述多个光学调节装置是放大所述光束的光学放大器。

15、根据权利要求 1 的光学放大装置，其特征在于：
所述多个光学调节装置是衰减所述光束的光学衰减器。

25 16、一种光学发送设备，包括：
提供给每个预定波长带并在各波长带中产生 WDM 光信号的多个光学发送
装置；

连接到所述各光学发送装置的多个光学调节装置，用于调节光束的光功
率；

30 波长多路复用装置，用于对所述各光学调节装置的输出进行波长多路复

用；及

进行控制的控制装置，以使所述多个光学调节装置中的调节较短波长带的光的光功率的光学调节装置的输出大于所述多个光学调节装置中的调节较长波长带的光的光功率的光学调节装置的输出。

5 17、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：所述控制装置还控制所述各光学调节装置的输出，以便在所述波长多路复用装置的输出光传到一个预定点时使该预定点处的各波长带的光功率变得近似相等。

18、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：所述控制装置还控制所述各光学调节装置的输出，以便在所述波长多路复用装置的输出光传
10 到一个预定点时使该预定点处的从所述各波长带的光功率中消除各光学调节装置的噪声功率所得到的功率变得近似相等。

19、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：

所述控制装置根据连接到所述光学发送设备的输入侧的光传输线中的受激拉曼散射、所述光传输线中的损耗和所述波长多路复用装置中的损耗至少
15 之一，确定出调节所述较短波长带的光的光功率的所述光学调节装置的输出和调节所述较长波长带的光的光功率的所述光学调节装置的输出之间的差值。

20、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：

所述在各波长带中的 WDM 光信号是第一波长带中的 WDM 光信号和波长大于
20 于第一波长带的第二波长带中的 WDM 光信号，且其中该第一波长带中的所述 WDM 光信号的信道数被增加或减少。

21、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：

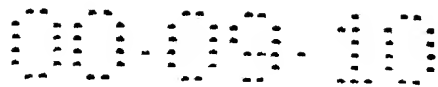
所述在各波长带中的 WDM 信号是第一波长带中的 WDM 光信号和波长大于
25 第一波长带的第二波长带中的 WDM 光信号，且其中该第二波长带中的所述 WDM 光信号的信道数被增加或减少。

22、根据权利要求 17 的光学发送设备，还包括：

检测所述预定点处的各波长带的所述光功率的检测装置，其中

所述控制装置还根据所述检测装置的输出控制所述各光学调节装置的输出。

30 23、根据权利要求 18 的光学发送设备，还包括：



检测所述预定点处的所述各波长带的所述光功率之一的检测装置，其中所述控制装置还根据所述检测装置的输出控制所述各光学调节装置的输出。

24、根据权利要求 22 的光学发送设备，其特征在于：

5 所述检测装置检测对应于最短波长信道的 WDM 光信号之一的光功率。

25、根据权利要求 23 的光学发送设备，其特征在于：

所述检测装置检测对应于最短波长信道的 WDM 光信号之一的光功率。

26、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：

10 每一个所述的多个光学发送装置在每一个所述的多个波长带中通过产生多个具有不同光功率的光信号和在一个波长带基上对所述多个光信号进行波长多路复用分别地产生每个 WDM 光信号。

27、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：

所述多个光学调节装置是放大光束的光学放大器。

28、根据权利要求 16 的光学发送设备，其特征在于：

15 所述多个光学调节装置是衰减光束的光学衰减器。

29、一种光传输系统，包括：

一个用于产生多个波长带的光信号的光学发送设备；

一个传输所产生的所述光信号的光传输线；

一个接收和处理经所述光传输线传输的所述光信号的光接收装置；和

20 至少一个设置在光传输线上的光学放大装置，该装置包括：

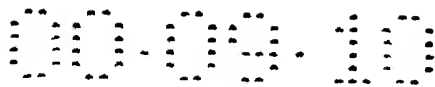
用于在波长带基上进行所述光信号的波长多路分用的波长多路分用装置；

调节各波长带中的每个所述光信号的光功率的多个光学调节装置，该光功率是从所述波长多路分用装置输出的；

25 波长多路复用装置，用于对所述各光学调节装置的输出进行波长多路复用；

控制装置，用于进行控制，以使所述多个光学调节装置中的调节较短波长带的光的光功率的光学调节装置的输出大于所述多个光学调节装置中的调节较长波长带的光的光功率的光学调节装置的输出。

30 30、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：所述光学放大装置



的所述控制装置还控制所述各光学调节装置的输出，以便在所述光学放大装置的输出光信号传到一个预定点时使该预定点处的各波长带的光信号的光功率变得近似相等。

5 31、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：所述光学放大装置的所述控制装置还控制所述各光学调节装置的输出，以便在所述光学放大装置的输出光信号传到一个预定点时使该预定点处的从所述各波长带的光信号的光功率中消除各光学调节装置的噪声功率所得到的功率变得近似相等。

32、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：所述光学放大装置还包括一个提供光给传输输入光信号的光传输线的光源。

10 33、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：

所述光学发送设备通过产生多个具有不同光功率的光信号和在一个波长带基上对多个光信号进行波长多路复用产生所述的多个波长带中的所述光信号。

34、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：

15 所述光接收装置包括一个检测光信号的光谱并输出所述检测结果给该光学发送设备的光谱检测部分，且其中

所述光学发送设备通过根据该光谱检测部分的检测结果产生多组具有不同光功率的光信号和在一个波长带基上对所述多组光信号进行波长多路复用来产生所述多个波长带的所述光信号。

20 35、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：

所述光学放大装置的所述多个光学调节装置是放大光信号的光学放大器。

36、根据权利要求 29 的光传输系统，其特征在于：

光学放大装置的所述多个光学调节装置是衰减光信号的光学衰减器。

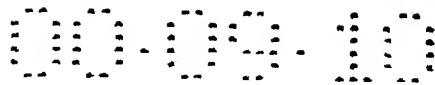
25 37、一种放大光的方法，包括步骤：

(1) 放大多个波长带中的较长波长带中的光；

(2) 放大所述多个波长带中的较短波长带中的光使它具有大于较长波长带中所放大光的光功率的光功率；及

(3) 对该多个波长带进行波长多路复用。

30 38、根据权利要求 37 的光放大方法，还包括步骤：确定出所述较短波



长带的光的放大输出和所述较长波长带的光的放大输出之间的差值，以便当所述多个波长带的波长多路复用光传到一预定点时使该预定点处的各波长带的光功率近似相等，且其中

5 所述步骤（2）放大所述较短波长带的光，使得它具有大于所述较长波长带的放大光的光功率一个所述差值的光功率。

39、一种放大光的方法，包括步骤：

（1）产生具有不同光功率的多个光信号；

（2）通过在一个波长带基上对所述多个光信号进行波长多路复用来产生多个 WDM 光信号；

10 （3）放大该多个 WDM 光信号中的较长波长带中的一个 WDM 光信号；

（4）放大所述多个 WDM 光信号中的较短波长带中的一个 WDM 光信号，使得它具有大于所述较长波长带中的所述放大 WDM 光信号的光功率的光功率；且

（5）波长多路复用所述多个 WDM 光信号。

15 40、根据权利要求 39 的光放大方法，还包括步骤：确定出所述较短波长带的 WDM 光信号的放大输出和所述较长波长带的 WDM 光信号的放大输出之间的差值，以便当多个 WDM 光信号的波长多路复用的光信号传到一预定点时使该预定点处的各 WDM 光信号的光功率近似相等，且其中

20 所述步骤（4）放大所述较短波长带的 WDM 光信号，使得它具有大于所述较长波长带的放大光的光功率一个所述差值的光功率。

41、一种输入光的方法，包括步骤：

使各波长带的多个 WDM 光信号中的一个较短波长带的 WDM 光信号的光功率大于一个较长波长带的 WDM 光信号的光功率；且

将各波长带的所述多个 WDM 光信号输入到一个光传输线。



说明书

光学放大装置、光学发送设备、 光传输系统及光学放大方法

5

本发明涉及一种具有对应于相应波长带的光学放大器并能在光信号传播一预定距离后到达的点处均衡各波长带的光功率的光学放大装置，及一种相关的光学发送设备。本发明还涉及一种使用这些设备作为光学中继器的光传输系统。本发明还涉及一种具有对应于相应波长带的光学放大装置中的光学放大方法。

10

为了构造未来的多媒体网络，现在需要超长距离、大容量的光传输系统。为了实现这种容量的增长，由于可有效地利用光纤的宽波带和大容量和其它优点，现在将波分多路复用（以下简称为 WDM）作为一个课题进行研究和开发。

15

特别是，根据提高 WDM 的带宽和增大有用波长数的要求，放大带宽和波长数增大的 WDM 光信号的光学放大装置正被广泛地研究和开发。

已报导了一种放大带宽和波长数增大的 WDM 光信号的光学放大装置（“Trinial-wavelength-band WDM transmission over dispersion-shifted fiber”，Jun-ichi Kani et al., 1999 IEICE General Conference）。

20

参看根据上述报导所绘制的图 23，16 个激光二极管（下文中简称为 LD）150-1 到 150-16 分别发射具有对应于 S⁺波段的信道-1 到信道 16 的波长的激光束。把所发射的激光束输入到一个阵列式波导光栅（下文中简称为 AWG）151-1。AWG 151-1 通过波长多路复用信道-1 到信道-16 的激光束产生 WDM 光。把 WDM 光输入到马赫-曾德尔（Mach-Zehnder）干涉仪型光学调制器（下文中简称为“MZ 调制器”）152-1，在那儿它被要传输的信息所调制从而转换成一个 WDM 光信号。将该 WDM 光信号输入到掺铒光纤放大器（下文中简称为 TDFA）153。作为掺杂稀土元素的放大 1,450nm 波段中的光的光纤放大器，TDFA 153 可放大 S⁺波段 WDM 光信号。把所放大的 WDM 光信号输入到绝缘多层光纤制成的波长多路复用耦合器（下文中简称为“WDM 耦合器”）156。

30

C 波段 WDM 光信号由这样一个块产生，该块与上述块相同并包括 150-17

到 150-32、AWG 151-2、MZ 耦合器 152-2 和用于代替 TDFA 153 并在 1,550nm 波段中实施放大作用的掺铒光纤放大器（下文中简称为 EDFA）154 的块。C 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 156。

5 L 波段 WDM 光信号由这样一个块产生，该块与上述块相同并包括 150-33 到 150-48、AWG 151-3、MZ 耦合器 152-3 和设置成代替 TDFA 153 并在 1,580nm 波段中实施放大作用的增益偏移掺铒光纤放大器（下文中简称为 GS-EDFA）155 的块。L 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 156。

WDM 耦合器 156 通过波长多路复用 S⁺波段、C 波段和 L 波段 WDM 光信号产生一个三波长带 WDM 光信号。把三波长带 WDM 光信号发送到光传输线，即，
10 色散位移光纤（下文中简称为 DSF）157。

在上述光传输系统中，产生了信道分别指定到 S⁺波段（1,450-1,490nm）、C 波段（1,530-1,570nm）和 L 波段（1,570-1,610nm）的波长带的 WDM 光信号，根据一个波长带基准用掺杂稀土元素的光纤放大器进行放大，并被波长多路复用成三波长带 WDM 光信号，该信号被发送到光传输线。

15 顺便说一下，众所周知，由于如受激拉曼散射、四波混合和交叉相位调制的非线性光学现象存在，使得在经光传输线传播的 WDM 光信号之间发生了串扰。

特别是，由于受激拉曼散射使得较短波长光功率在光传输线中经与光声子发生交互作用要被转送到较长波长侧，从而使各信道的光功率不均匀。这样便产生了增益梯度并因此恶化了较短波长信道的 WDM 光信号的光学信噪比（下文中简称为“光学 SNR”）。

在 WDM 光信号处在具有拉曼增益的 15THz 的信道中的情况下，从 WDM 光信号的较短波长信道中除去的光功率的比例 D 表示为：

$$25 \quad D = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_0} \right) \times \left(\frac{P_i \gamma_i L_e}{2 A_{eff}} \right) \quad \dots(1)$$

其中 N 是信道数，而 λ_i 、 P_i 和 γ_i 分别是第 i 信道的波长、光功率和拉曼增益系数。Le 是光传输线的有效波长并表示为 $L_e = \{1 - \exp(-\alpha)\} / \alpha$ ，其中 α 是光传输线的损耗系数。A_{eff} 是光传输线的有效纤芯横截面。

通常，拉曼增益系数是三角形逼近的值并表示为：

$$30 \quad \gamma_i = \frac{i \Delta f \gamma_P}{1.5 \times 10^{13}} \quad \dots(2)$$

其中 Δf 是信道间的间隔, γ_p 是峰值增益系数, 它是用三角形逼近方法得到的拉曼增益系数的最大值。

包括上述等式的与受激拉曼散射有关的公式在“Optical Fiber Communication Technology”(由 Yoshihiro Konishi, Nikkan Kogyo Shinbun, .Ltd 审定)的第 276-278 页上进行了说明。

众所周知, 如果 32 波 WDM 光信号经光纤传输一定距离, 则受激拉曼散射使得信道-1 的部分光功率要被传递到较长波长信道并因此在 WDM 光信号中产生增益梯度。也就是说, 因受激拉曼散射所引起的增益梯度发生在单个波长带中的 WDM 光信号中。

顺便说一下, 计算出约 1,550nm 的波长带中的受激拉曼散射的交互作用的范围是 130nm 的宽波长带或更大。因此, 当其信道被设置在三个波长带中的三波长带 WDM 光信号在图 23 的光传输系统中传输 100km 时, 由于受激拉曼散射使得较短波长带的 S'波段的部分光功率要被传递到较长波长带的 C 波段和 L 波段, 因此使得光学 SNR 恶化。

根据上述理解, 要进行一个测量以评估受激拉曼散射是怎样影响在 C 波段和 L 波段中都传输的两波长带 WDM 光信号的。

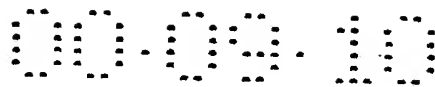
参见图 17, 32 个 LD 120-1 到 120-32 分别发射具有对应于 C 波段的信道-1 到信道-32 的波长的激光束。把所发射的激光束输入到 AWG 121-1, 在那儿它们被波长多路复用成 WDM 光。该 WDM 光被输入到 EDFA 122 且在那被放大。把所放大的 WDM 光输入到衰减光功率的衰减器(下文中简称为 ATT) 123。其光功率已被衰减到一预定值的 WDM 光被输入到 WDM 耦合器 126。

L 波段 WDM 光由一个与上述块相同并包括 LD 120-33 到 120-64、AWG 121-2、设置成代替 EDFA 122 的 GS-EDFA 124 和 ATT 125 的块产生。把所产生的 L 波段 WDM 光输入到 WDM 耦合器 126。

WDM 耦合器 126 通过波长多路复用 C 波段和 L 波段 WDM 光束来产生一个两波长带 WDM 光, 并把它发送到一个单模光纤(下文中简称为 SMF) 127。

在经 SMF 127 传输 80km 之后, 两波长带 WDM 光被输入到一个测量所进入光的波长和功率的光谱分析仪 128。

各 ATT 123 和 125 的衰减量被调节成使 C 波段和 L 波段中的每个信道



到 SMF 127. 经 SMF 127 已传输 80km 的 L 波段 WDM 光用光谱分析仪 130 进行测量.

ATT 123 和 ATT 125 进行这样的调节以便均衡 C 波段中的每个信道在 Z1 点 (见图 21) 处的和 L 波段中的每个信道在 Z2 点 (见图 21) 处的光功率.

5 从图 22 的测量结果可看出: C 波段的部分光功率传递到 L 波段的现象以同样方式发生在单向传输和双向传输中.

在图 22 中, 垂直轴用 dB 表示拉曼增益而水平轴用 nm 表示波长. 标志 “◆” 表示从图 20 转送的单向传输中的光功率而标志 “■” 表示双向传输中的光功率.

10 从图 19、20 和 22 可看出: 当两波长带 WDM 光被传输时, 受激拉曼散射使 C 波段的部分光功率传递给 L 波段. 也就是说, 受激拉曼散射使较短波长带中的 WDM 光的部分功率传递给较长波长带中的 WDM 光. 这样, 当传输 n 波长带 WDM 光时, 在波长带之间产生的光功率偏差和较短波长带中的 WDM 光的光学 SNR 降低.

15 尤其是, 如由等式 (1) 所了解到的那样, 在超长距离传输的情况下由于 P_i 和 L_e 变大使得光学 SNR 恶化.

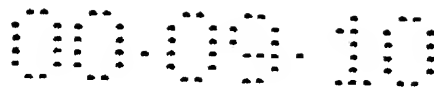
本发明的一个目的是提供在宽波长带光传输之后在各波长带的光功率间没有偏差的一种光学放大装置、一种光学发送设备和一种光传输系统.

20 本发明的另一目的是提供一种在传输宽波长带光时在光信号传输之后增加光学 SNR 的光传输系统.

本发明的又一目的是提供一种在宽波长带光传输之后在各波长带的光功率间没有偏差的光学放大方法.

25 本发明的这些目的通过一种具有多个光学调节部分、波长多路复用部分和控制部分的装置来实现, 其中控制部分控制光学调节部分的输出以使较短波长带中的光的光功率大于较长波长带中的光的光功率.

30 光学调节部分的示例为光学放大器和光学衰减器. 例如, 控制部分可通过参照已传输一预定距离的波长多路复用光的各波长带中的光束的光功率调节多个光学调节部分的输出. 也可以是, 如另一个示例, 控制部分通过参照已传输一预定距离的波长多路复用光的各波长带中的部分光束的光功率, 可调节多个光学调节部分的输出.



由于上述装置可控制光学调节部分的输出，因此它能消除波长带之间的因与波长有关的放大和损耗而另外产生的偏差，如受激拉曼散射和光传输线中的损耗、波长多路分用部分中的损耗和波长多路复用部分中的损耗，从而可增加光学 SNR。因此，上述装置可改进整个光传输系统的性能。

5 从参照附图的以下描述中将会对本发明的更多目的和特性了解更清楚。

本发明的特性、原理和使用将从下面的结合附图所进行的描述中变得更清楚，图中用相同的标号表示同一元件，其中：

图 1 是根据本发明的第一实施例的复合光学放大装置的方框图；

图 2A-2E 是图 1 的光学放大装置的工作原理图；

10 图 3A 和 3B 是波长带间预加重的一个示例图；

图 4A 和 4B 示出了第一波长带内的信道数分别增加和减少的情况；

图 5A 和 5B 示出了第二波长带内的信道数分别增加和减少的情况；

图 6 是根据本发明的第二个实施例的复合光学放大装置的方框图；

图 7 是根据本发明的第三个实施例的宽波长带光发送装置的方框图；

15 图 8 是根据本发明的第四个实施例的光学传输系统的方框图；

图 9A-9C 示出了图 8 的光学传输系统的工作过程；

图 10 是根据本发明的第五个实施例的一个完整的光学传输系统的方框图；

图 11 是图 10 的光学传输系统中的每个复合光学放大装置的方框图；

20 图 12 是根据本发明的第六个实施例的光学传输系统的方框图；

图 13 是根据本发明的第七个实施例的光学传输系统的方框图；

图 14 是图 13 的光学传输系统中的每个复合光学放大装置的方框图；

图 15A 和 15B 示出了一种复合光学放大装置，它用作为增益均衡器的光学滤波器来补偿每个光学放大器的波长增益；

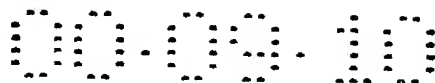
25 图 16A 和 16B 是示出了一种能减少和增加波长带数的复合光学放大装置；

图 17 是测量在单向传输中因受激拉曼散射而引起的增益梯度的测量系统的方框图；

图 18 是 Y 点处的两波长带 WDM 的频谱图；

图 19 示出了在经一 SMF 传输 80km 后的两波长带 WDM 的频谱；

30 图 20 为单一方向传输情况下的拉曼增益图；



的特性，它们将被作为波长多路复用/多路分用部分的损耗进行处理。后面将参照图 2E 说明已传输一定距离的光学信号的噪声指数的依赖关系。

5 尽管为了简化说明下面的描述将指的是三波长带的情况，但任意波长带数的情况可用同样的方式解释。

图 2A 示出了经光传输线 10 所传输的光，例如，包括第一波长带内的 WDM 光信号、第二波长带内的 WDM 光信号和第三波长带内的 WDM 光信号。

10 图 2B 示出了因上述波长带内的受激拉曼散射造成的损耗的示例。从图 2A 和 2B 可以看出，受激拉曼散射使得第一波长带的部分光功率被传递到第二和第三波长带，且也使第二波长带的部分光功率量被传递到第三波长带。结果，增加或减少了相应波长带的光功率量。

图 2C 示出了光传输线 10 内的损耗的示例。如图 2C 所示，光传输线 10 内的损耗取决于所传输光的波长。一般来讲，光传输线具有在特定波长处的损耗为最小的波长损耗特性。

15 图 2D 示出了波长多路复用/多路分用部分中的损耗的示例。特别是，干涉滤波器型光学多路复用/多路分用部分如绝缘多层光学滤波器以分步方式按波长带来多路复用光束（或多路分用光束）。因此，在第一步中被叠加（或分离）的光穿过干涉滤波器的数目不同从而与在最后一步中被叠加（或分离）的光相比得到的损耗也不同。

20 图 2E 示出了光学放大部分 5-1 到 5-n 的噪声指数（NF）的示例。在光学放大部分 5-1 到 5-n 中，已放大的自发发射（ASE）的密度取决于波长。因此，每个光学放大部分 5-1 到 5-n 的噪声指数也取决于波长。噪声指数是一个通过用每个光学放大部分 5-1 到 5-n 中输出的光学 SNR 除以输入的光学 SNR 所获得的值并与噪声功率相关。

25 当传输图 2A 所示的三波长带 WDM 光信号时，由于光学传输线 10 和波长多路复用/多路分用部分出现了图 2B-2D 所示的依赖波长的损耗，所以三波长带 WDM 光信号的相应波长带的光功率在传输后发生偏转。

也就是说，参看图 1，当第一到第三波长带的 WDM 光信号由波长多路分用部分 8 进行波长多路分用时和在被相应的光学放大部分 5-1 到 5-3 放大后、
30 由波长多路复用部分 6 进行波长多路复用，发生图 2D 中的损耗。在经光

学传输线 10 传输到点 A 的同时, 发生图 2B 和 2C 所示的三波长带 WDM 光信号的损耗。由于损耗取决于波长, 如果不调整光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出, 就会在点 A 处的相应波长带的光功率间出现偏差。因此, SNR 从一个波长带变到另一个。

- 5 鉴于上面所述, 通过在三波长带 WDM 光信号传输前调整光学放大部分 5-1 到 5-3 的输出、相应波长带的光功率根据波长带基被预加重, 以便对将在相应波长带的光功率中出现的偏差进行补偿。

通过以这种方式进行波长带内预加重, 在经光学传输线 10 进行传输期间发生的损耗可被补偿且因此在传输后各波长带的光功率之间的差值可被减少或者甚至被消除。从而, 使整个三波长带 WDM 光信号的光学 SNR 增加。

图 3A 和 3B 分别示出了波长带内预加重的第一和第二示例。

- 15 在受激拉曼散射引起的损耗大到使光学传输线 10 中的损耗和波长多路复用/多路分用部分中的损耗可忽略不计的情况下, 可根据等式 (1) 和 (2) 计算出波长带内预加重的量。在这种情况下, 由于受激拉曼散射使得短波长带的部分光功率被传给了较长波长带, 通过以第一波长带的光功率为最大、第二波长带的光功率居中和第三波长带的光功率为最小的方式设定光功率来获得满意的结果。

- 20 另一方面, 在受激拉曼散射引起损耗大到使光学传输线 10 中的损耗和波长多路复用/多路分用部分中的损耗可忽略不计的情况下, 通过实际测量光学传输线 10 中的损耗和波长多路复用/多路分用部分中的损耗可得到对应于图 2C 和 2D 的图。可用那些图计算出波长带内预加重的量。在这种情况下, 根据损耗间的幅值关系改变预加重 (preemphasis) 的方式。可以按如图 3A 所示的第一波长带、第二波长带和第三波长带的顺序减少光功率的方式来设定光功率。换句话说, 可以按如图 3B 所示的第一波长带、第三波长带和第三波长带的顺序减少光功率的方式来设定光功率。
- 25 在光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率无差别或差值可忽略不计的情况下, 根据受激拉曼散射、光学传输线 10 中的损耗和波长多路复用/多路分用部分中的损耗可以按上述方式进行波长带内预加重。由于复合光学放大装置 1 在以这种方式传输后几乎可均衡各波长带的光功率, 可以使得光学 SNR

30 增加。

另一方面，在光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率的差值可忽略不计的情况下，以下述方式可实现波长带内预加重。由于光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率被原样传输，使得波长带内预加重被调节以均衡在传输后因从各波长带的光功率中消除光学放大部分 5-1 到 5-n 中的用于放大各波长带中的 WDM 光信号的噪声功率而获得的光功率。在这种方式中，光学 SNR 可进一步增加。光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率的消除通过用 dB 表示的两种功率从各波长带中的光功率中减去光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率而达到。

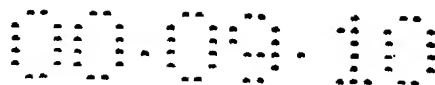
当每个波长带的频道数越大或每个波长带越宽时，则每个波长带的光功率越大。因此，波长带内预加重以这种方式实现，即，当每个波长带的信道数越大或每个波长带越宽时，使较短波长带的光功率和较长波长带的光功率之间的差值变大。

在如上述受激拉曼散射的情况下，可先对光传输线 10 中的损耗和波长多路复用/多路分用部分中的损耗进行测量，通过按上述原理进行控制的控制部分 7 来获得满意的结果。

在复合光学放大装置 1 中，控制部分 7 预先根据光传输线 10 中、从复合光学放大部分 1 到离复合光学放大部分 1 一预定距离的一个点之间产生的光功率差来控制各光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出。因此，使得传输预定距离后的各波长带的光功率近似相等。这样，在输入光束为 WDM 光信号处，预定点处的光学 SNR 中的恶化可被减少。如果用于接收和处理 WDM 光信号的光接收装置位于使各波长带的光学 SNR 均匀的预定点处，则会改进具有复合光学放大装置 1 的整个光传输系统的性能。

在第一个实施例中，最好如图 1 的虚线所示，复合光学放大装置 1 还有一个与波长多路分用部分 8 相联的、提供光功率给输入光的泵浦源 9，且从泵浦源 9 所提供的光被波长多路分用部分 8 输入到光传输线 11。在这种情况下，复合光学放大装置 1 可用泵浦源 9 的泵浦光模拟拉曼放大光传输线 11 中的输入光，使其可在对输入光进行多路分用的过程中补偿波长多路分用部分 9 中产生的衰减量。

这里所描述的属于这样一种情况，在这种情况下，输入光是二波长带 WDM 信号，该信号包括第一波长带中的 WDM 光信号和波长比第一波长带长且 WDM



光信号的信道数增加或减少的第二波长带中的 WDM 光信号。

图 4A 示出了第一波长带中的信道数从 m 变到 $m+k$ 的情况，而图 4B 示出了第一波长带中的信道数从 m 变到 $m-k$ 的情况。

图 5A 示出了第二波长带中的信道数从 m 变到 $m+k$ 的情况，而图 5B 示出了第二波长带中的信道数从 m 变到 $m-k$ 的情况。

在图 4A 和 4B 及图 5A 和 5B 中，垂直轴表示光功率而水平轴表示波长。

当 WDM 光信号的信道数增加或减少时，由控制部分 7 所进行的控制将参照图 4A 和 4B 及图 5A 和 5B 来描述。

首先，将说明第一波长带中的信道数被增加或减少时要进行的控制。

假设如图 4A 和 4B 的左侧部分所示，在第一波长带中设定一 m 波 WDM 光信号、在第二波长带中设定一 L 波 WDM 光信号且每一信道的光功率为 P_0 。

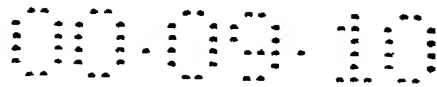
当在这种状态下第一波长带中的信道数从 m 变到 $m+k$ 时，由于第一波长带的光功率增加，下面的三种控制如图 4A 的右侧部分所示地与用控制部分 7 要进行的控制一样有效。

在第一种控制中，如图 4A 的右上侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率从 P_0 减少且第二波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 。在第二种控制中，如图 4A 的右中侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 增加。在第三种控制中，如图 4A 的右下侧部分所示，每个信道的光功率从 P_0 减少且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 增加。

当第一波长带中的信道数在如图 4B 的左侧部分所示的状态中从 m 减到 $m-k$ 时，由于第一波长带的光功率减少，下面的三种控制如图 4B 的左侧部分所示地与用控制部分 7 要进行的控制一样有效。

在第一种控制中，如图 4B 的右上侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率从 P_0 增加且第二波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 。在第二种控制中，如图 4B 的右中侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 减少。在第三种控制中，如图 4B 的右下侧部分所示，每个信道的光功率从 P_0 增加且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 减少。

接下来，将说明当第二波长带的信道数增加或减少时要进行的控制。



假设如图 5A 和 5B 的左侧部分所示，在第一波长带中设定一 m 波 WDM 光信号、在第二波长带中设定一 L 波 WDM 光信号且每一信道的光功率为 P_0 。

当在这种状态下第一波长带中的信道数从 L 变到 $L+h$ 时，由于第二波长带的光功率增加，下面的三种控制如图 5A 的右侧部分所示可用作由控制部分 7 完成的控制。

在第一种控制中，如图 5A 的右上侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率从 P_0 增加且第二波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 。在第二种控制中，如图 5A 的右中侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 减少。在第三种控制中，如图 5A 的右下侧部分所示，每个信道的光功率从 P_0 增加且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 减少。

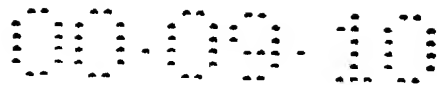
当第二波长带中的信道数在如图 5B 的左侧部分所示的状态中从 L 减到 $L-h$ 时，由于第二波长带的光功率减少，下面的三种控制如图 5B 的右侧部分所示可用作由控制部分 7 完成的控制。

在第一种控制中，如图 5B 的右上侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率从 P_0 减少且第二波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 。在第二种控制中，如图 5B 的右中侧部分所示，第一波长带的每个信道的光功率保持在 P_0 且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 增加。在第三种控制中，如图 5B 的右下侧部分所示，每个信道的光功率从 P_0 减少且第二波长带的每个信道的光功率从 P_0 增加。

如上所述，三种控制对图 4A 和 4B 与图 5A 和 5B 的每种情况都有效。控制部分 7 选择并执行三种控制中的一种。

在上述每种情况中，每个信道的光功率从 P_0 增加或减少的量根据增加或减少的信道数 k 或 h 、第一和第二波长带的波长、基本光功率 P_0 、到各波长带的光功率要被均衡的预定点的距离和其它因素来确定。

如上所述，当第一波长带内的 WDM 光信号的信道数已经增加或减少时、或第二波长带内的 WDM 光信号的信道数已经增加或减少时，以下面的这种方式可得到满意的结果，即，控制部分 7 增加或减少用于放大第一波长带中的 WDM 光信号光学放大部分 5-1 的输出或者是增加或减少用于放大第二波长带中的 WDM 光信号光学放大部分 5-2 的输出，以使光功率在各波长带内的 WDM



控制部分 7 完成第一和第二实施例中所所述的各种控制中的一种。

因此，涉及使预定点处的各波长带的光功率大致相同的宽波长带光学发送装置 3 的工作原理和优点以及涉及在考虑到相应各光学放大部分 5-1 到 5-n 的噪声特性的条件下调节预定点处的各波长带的光功率的宽波长带光学发送装置 3 的工作原理和优点均与第一和第二实施例中的相同，故而此处不再描述。

在第一到第三实施例中，控制部分 7 可控制光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出，因此，当由各光学放大部分 5-1 到 5-n 所放大的各波长带中的光束传送到预定点时，例如，点 A，通过从 A 点处的各波长带的光功率中消除各光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率所得到的功率将变得近似相等。

在第一到第三实施例中，控制部分 7 可控制光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出，因此，当由各光学放大部分 5-1 到 5-n 所放大的各波长带中的光束传送到预定点时，例如，点 A，在光传输线 10 上的远离复合光学放大装置 1、2 或宽波长带光学发送装置 3 的预定距离处，在 A 点处的各波长带的光功率将变得近似相等。

在第一到第三实施例中，控制部分 7 的控制量根据光学传输线 10 中的至少一个受激拉曼散射、光传输线 10 中的损耗、波长多路分用部分 8 中的损耗和波长多路复用部分 6 中的损耗来决定。

在第一到第三实施例中，控制部分 7 可有一个在由各光学放大部分 5-1 到 5-n 所放大的各波长带中的光束传送到预定点时、用于检测预定点处的各波长带的光功率的检测部分，并可根据检测部分的输出调节各光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出，以使预定点处的各波长带的光功率近似相等。

在这种情况下，控制部分 7 实际检测预定点处的各波长带的光功率并根据检测结果反馈控制各光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出。因此，复合光学放大装置 1、2 和宽波长带光学发送装置 3 能可靠地使预定点处的各波长带的光功率近似相等。

在第一到第三实施例中，控制部分 7 可有一个在由各光学放大部分 5-1 到 5-n 所放大的各波长带中的光束传送到预定点时、用于检测预定点处的各波长带的光功率的检测部分，并可根据检测部分的输出调节各光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出，以使通过从预定点处的各波长带的光功率中消除各光学



结果和各光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声功率反馈控制各光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出。因此，复合光学放大装置 1、2 和宽波长带光学发送装置 3 在考虑各光学放大部分 5-1 到 5-n 中的噪声时能可靠地使预定点处的各波长带的光功率近似相等。

- 5 尽管在第一和第三实施例中，在各波长带中的光束被放大的同时调节了各波长带的光功率，但它们在各自波长带中的光束被衰减时仍可被调节。在后一种情况中，可使用光学衰减器等。

[实施例 4]

- 10 如图 8 所示，根据第四个实施例的一种光传输系统包括一种产生和发送光信号的光发送装置 4、光传输线 10 和接收并处理光信号的光接收装置 14。

光发送装置 4 包括多个在各波长带中产生 WDM 光信号的光信号产生部分 15-1 到 15-n、多个光放大部分 5-1 至 5-n、一个控制部分 7 和波长多路复用部分 6。

- 15 光信号产生部分 15-1 至 15-n 是为那些相应的波长带设置的。光信号产生部分 15-1 至 15-n 在相应的波长带产生 WDM 信号。每个 WDM 光信号是一个通过波长多路复用其光功率业已根据每个频谱检测部分 17-1 到 17-n 的检测结果调节过的光信号所获得的光信号。

把光学放大部分 5-1 到 5-n 连接到相应的光信号产生部分 15-1 到 15-n 并放大各光信号产生部分 15-1 到 15-n 所产生的 WDM 信号

- 20 控制部分 7 控制各光学放大部分 5-1 到 5-n 的输出，以使在各波长带中的被各光学放大部分 5-1 到 5-n 所放大的 WDM 光信号被传输到预定点时，各波长带中的 WDM 光信号的光功率在预定点处近似相等。

波长多路复用部分 6 波长多路复用各波长带中的放大的 WDM 光信号。

- 25 光传输线 10 与光发送装置 4 相连并传输宽波长带 WDM 光信号给光接收装置 14。

光接收装置 14 包括波长多路分用部分 18、多个频谱检测部分 17-1 到 17-n 和多个光接收部分 19-1 到 19-n。频谱检测部分 17-1 到 17-n 检测 WDM 光信号的频谱并输出检测结果给光发送装置 4。

- 30 在传输距离长到使光接收装置 14 所检测的宽波长带 WDM 光信号的能级低的位置处，放大宽波长带 WDM 光信号的光学放大装置，如，上述复合光学

光学 SNR 的光学 SNR 的光信号。

至于波长带内预加重，如果光发送装置 4 根据光接收装置 14 的光谱检测部分 17-1 和 17-2 的检测结果以上述方式调节各光信号的光功率则可获得满意的结果。

- 5 在对每个 WDM 光信号进行波长带内预加重后，光发送装置 4 使被控制部分 7 增益控制的光学放大部分 5-1 和 5-2 进行波长带间预加重。

由于波长带间预加重与参照图 2A-2E 和图 3A-3B 的上述描述相同，这里就不再说明。波长带间预加重的调节既可使用每个 WDM 光信号的光信号的光功率的总和也可使用其平均值（见图 9B）来进行。

- 10 在进行波长带内预加重和波长带间预加重后，第一波长带 WDM 光信号和第二波长带 WDM 光信号经波长多路复用部分 6 被波长多路复用并从光发送装置 4 以图 9B 最左边部分所示的两波长带 WDM 光信号的形式输出到光传输线 10。

- 15 在复合光学放大装置 1A 的输入端，两波长带 WDM 光信号的 WDM 光信号的光功率由受激拉曼散射和光传输线 10 中的损耗及其它因素而改变。但是，由于波长带间预加重被完成，第一波长带 WDM 光信号的光功率近似等于图 9B 的第二部分（从左边起）中所示的第二波长带 WDM 光信号的光功率。因此，各光信号的光学 SNR 大于波长带间预加重未完成的情况。

- 20 如图 9B 的第三部分（从左边起）中所示，两波长带 WDM 光信号受到波长带间预加重和在复合光学放大部分 1A 中的放大，并接着被输出到复合光学放大部分 1A 输出端的光传输线 10。

- 25 在光接收装置 14 的输入端，受到波长带间预加重和在复合光学放大部分 1A 中连续放大的两波长带 WDM 光信号被输入到光接收装置 14。由于入射的两波长带 WDM 光信号的光信号受到波长带内预加重，因光发送装置 4 中的光学放大器、复合光学放大部分 1 和光接收部分 14 所产生的 ASE_s 在光 SNR 中的衰变减小，如图 9B 最右边部分所示那样。另外，由于波长带间也进行了预加重，因受激拉曼散射等引起的波长带之间的偏差带来的光学 SNR 中的衰变也可被减小。

- 30 通常，在各光学放大器的增益和噪声指数的波长特性均匀处，光传输线 10 的传输间隔是恒定的，且各信道的光学 SNR 在接收侧被波长带内预加重均

衡，把光功率的梯度设置成使梯度的方向与发送侧中的相反且梯度的幅度近似等于发送侧中的。

另一方面，在光发送装置 4 完成波长带间预加重但没进行波长带内预加重处，在光发送装置 4 的输出端每个波长带中的 WDM 光信号的光功率如图 9C 最左边所示那样是相同的。

两波长带 WDM 光信号如图 9C 的第二部分和第三部分（从左边起）中所示的在复合光学放大装置 1 中受到的波长带间预加重之后被传送，在光接收装置 14 的输入端因波长带之间的偏差带来的光学 SNR 中的衰变被减小但每个波长带范围内光学 SNR 中的衰变如图 9C 最右边所示那样被保留。

最后，根据第四个实施例的光传输系统还可进一步增加超长距离传输的距离。

[实施例 5]

根据第五个实施例的光传输系统是使三波长带 WDM 光信号发送装置产生三波长带 WDM 光信号、复合光学放大装置延迟三波长带 WDM 光信号多次、且三波长带 WDM 光信号接收装置接收并处理三波长带 WDM 光信号的系统。三波长带 WDM 光信号包括一个具有设置在 S⁺ 波长带的信道的 WDM 光信号、一个具有设置在 C 波段的信道的 WDM 光信号和一个具有设置在 L 波段的信道的 WDM 光信号。

首先，将描述第五个实施例的光传输系统的整体配置。

如图 10 所示，S 个光发送器 (OS) 20-1 到 20-s 产生分别对应于 S⁺ 波段的信道-1 到信道-s 的光信号。例如，每个光发送器 20-1 到 20-s 可包括一个发射具有被分配给相关信道的波长的激光的半导体激光器、一个用要被发送的信息调制激光束的 MZ 调制器和一个驱动并控制半导体激光器和 MZ 调制器的控制电路。半导体激光器可以是如分布式反馈激光器和分布式布拉格反射激光器等任何不同的半导体激光器。

由各光发送器 20-1 到 20-s 所产生的光信号输入到 WDM 耦合器 (WDMCPL) 21-1。WDM 耦合器 21-1 把光信号转换成 WDM 光信号。用这种方式，产生 WDM 光信号，其中多个具有不同波长的 WDM 光信号被波长多路复用。且形成一个具有光发送器 20-1 到 20-s 和 WDM 耦合器 21-1 并产生 S⁺ 波段 WDM 光信号的光发送部分。从 WDM 耦合器 21-1 输出的 WDM 光信号被输入到 TDFA 22 并在

那儿被放大。例如，WDM 耦合器 21-1 是一个 AWG 或作为干扰滤波片型光学多路复用/多路分用器的多层介质光学滤波器。

5 TDFA 22 控制 S^+ 波段 WDM 光信号的光功率同时其输出由一个监视/控制电路 28 (MCC) 控制。光功率被控制的 S^+ 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 25。

光功率被控制的 C 波段 WDM 光信号以同样方式由 t 个光发送器 20-s+1 到 20-s+t、WDM 耦合器 21-2 和 EDFA 23 产生。

光功率被控制的 L 波段 WDM 光信号以同样方式由 u 个光发送器 20-s+t+1 到 20-s+t+u、WDM 耦合器 21-3 和 GS-EDFA 24 产生。

10 参见图 2D 如上所述，WDM 耦合器 25 对于各波长带具有不同的插入损耗。因此，为了增加光学 SNR，在 TDFA 22、EDFA 23 和 GS-EDFA 24 具有不同的噪声指数处，最好是把由具有较差的噪声指数的掺杂稀土元素光纤放大器所放大的 WDM 光信号以最小插入损耗的波长带输入到 WDM 耦合器 25。

15 TDFA 22、EDFA 23 和 GS-EDFA 24 的结构在图 11 所示的复合光学放大装置中近似相同，它们将在描述复合光学放大装置的过程中加以描述。

数 s 、 t 和 u 可以是任意数。数 s 的最大值由进行这种波长带的放大的 TDFA 22 的增益波长特性和信道间的间隔来决定。数 t 的最大值由进行这种波长带的放大的 EDFA 23 的增益波长特性和信道间的间隔来决定。数 u 的最大值由进行这种波长带的放大的 GS-EDFA 24 的增益波长特性和信道间的间隔来决定。

S^+ 波段 WDM 光信号、C 波段 WDM 光信号和 L 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 25，在那儿它们被波长多路复用成三波长带 WDM 光信号。把该三波长带 WDM 光信号输出到作为光传输线的光纤 48-1 并经它传输到下一级中继器。

25 光纤 48-1 连接到下一级中继器中的 WDM 耦合器 31A 上。业已经光纤 48-1 传输的三波长带 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 31A，在那儿它被波长多路分用成各波长带中的 WDM 光信号。

30 例如，把多路分用的 S^+ 波段 WDM 光信号输入到用于以如 10: 1 的光功率比把光线分成两部分的耦合器 37-1。把具有较小光功率的分枝 WDM 光信号输入到用于测量光功率的光功率计 (OPM) 36-1，在那儿 S^+ 波段 WDM 光信号的光功率被测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 28。另一方面，

把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 TDFA 32A。

多路分用的 C 波段 WDM 光信号的功率由与上述相似并包括耦合器 37-2、光功率计 36-2 和 EDFA 33A 的块测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 28。把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 EDFA 33A。

- 5 多路分用的 L 波段 WDM 光信号的功率由与上述相似并包括耦合器 37-3、光功率计 36-3 和 GS-EDFA 34A 的块测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 28。把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 GS-EDFA 34A。

- 10 监视/控制电路 28 接收光功率计 36-1 到 36-3 的输出。监视/控制电路 28 计算各波长带的光功率间的差值并调节进行各波长带中的放大的 TDFA 22、EDFA 23 和 GS-EDFA 24 的输出，以便消除该差值。

另一方面，具有较大光功率的 S⁺波段 WDM 光信号由 TDFA 32A 放大并输入到 WDM 耦合器 35A。TDFA 32A 控制 S⁺波段 WDM 光信号的光功率同时其输出由监视/控制电路 38A 控制。

- 15 具有较大光功率的 C 波段 WDM 光信号由输出被监视/控制电路 38A 控制的 EDFA 33A 放大，且之后输入到 WDM 耦合器 35A。

具有较大光功率的 L 波段 WDM 光信号由输出被监视/控制电路 38A 控制的 GS-EDFA 34A 放大，且之后输入到 WDM 耦合器 35A。

- 20 各波长带中的光信号由 WDM 耦合器 35A 波长多路复用且因此恢复到三波长带 WDM 光信号。该三波长带 WDM 光信号被输入到光纤 48-2 并经它传输到下一级中继器。

经光纤 48-2 传输的三波长带 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 31B，在那儿它被波长多路分用成各波长带中的 WDM 光信号。

- 25 把多路分用的 S⁺波段 WDM 光信号输入到用于例如按 10: 1 的光功率比把光线分成两部分耦合器 37A-1。把具有较小光功率的分枝 WDM 光信号输入到用于测量光功率的光功率计 (OPM) 36A-1，在那儿 S⁺波段 WDM 光信号的光功率被测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 38A。另一方面，把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 TDFA 32B。

- 30 多路分用的 C 波段 WDM 光信号的功率由与上述相似并包括耦合器 37A-2、光功率计 36A-2 和 EDFA 33B 的块测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 38A。把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 EDFA 33B。

多路分用的 L 波段 WDM 光信号的功率由与上述相似并包括耦合器 37A-3、光功率计 36A-3 和 GS-EDFA 34B 的块测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 38A。把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 GS-EDFA 34B。

- 5 监视/控制电路 38A 接收光功率计 36A-1 到 36A-3 的输出。监视/控制电路 38A 计算各波长带的光功率间的差值并调节进行各波长带中的放大的 TDFA 32A、EDFA 33A 和 GS-EDFA 34A 的输出，以便消除该差值。

另一方面，具有较大光功率的 S⁺波段 WDM 光信号由 TDFA 32A 放大并输入到 WDM 耦合器 35B。TDFA 32B 控制 S⁺波段 WDM 光信号的光功率同时其输出
10 由监视/控制电路 38B 控制。

具有较大光功率的 C 波段 WDM 光信号由输出被监视/控制电路 38B 控制的 EDFA 33B 放大，且之后输入到 WDM 耦合器 35B。

具有较大光功率的 L 波段 WDM 光信号由输出被监视/控制电路 38B 控制的 GS-EDFA 34B 放大，且之后输入到 WDM 耦合器 35B。

- 15 各波长带中的光信号由 WDM 耦合器 35B 波长多路复用且因此恢复到三波长带 WDM 光信号。该三波长带 WDM 光信号被输入到光纤 48-3 并经它传输到下一级中继器。

接着，以同样方式，三波长带 WDM 光信号被多路分用成各波长带中的 WDM 光信号，受到光功率放大和控制并被波长多路复用。三波长带 WDM 光信号按
20 这种方式转发 (relay) 多次。

如上所述，对各波长带中的 WDM 光信号的光功率放大和控制由 TDFA 32、EDFA 33 和 GS-EDFA 34 进行。TDFA 32、EDFA 33 和 GS-EDFA 34 的输出分别根据下一级的复合光学放大装置中的光功率计 36-1 到 36-3 的输出来控制。

- 25 把从未级复合光学放大装置输出的三波长带 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 41，在那儿它被波长多路分用成各波长带中的 WDM 光信号。

把多路分用的 S⁺波段 WDM 光信号输入到用于例如按 10: 1 的光功率比把光线分成两部分的耦合器 37Z-1。把具有较小光功率的分枝 WDM 光信号输入到用于测量光功率的光功率计 36Z-1，在那儿 S⁺波段 WDM 光信号的光功率被
30 测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 38Z。另一方面，把具有较

大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 45-1。

多路分用的 C 波段 WDM 光信号的功率由与上述相似并包括耦合器 37Z-2、光功率计 36Z-2 和 WDM 耦合器 45-2 的块测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 38Z。把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 45-2。

多路分用的 L 波段 WDM 光信号的功率由与上述相似并包括耦合器 37Z-3、光功率计 36Z-3 和 WDM 耦合器 45-3 的块测量。把测量结果发送到前一级的监视/控制电路 38Z。把具有较大光功率的分枝 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 45-3。

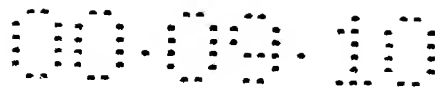
10 S⁺波段 WDM 光信号被 WDM 耦合器 45-1 波长多路分用成信道-1 到信道-s 的光信号。把各信道的波长多路分用光信号输入到各光接收器 (OR) 46-1 到 46-s, 在那儿它们被接收并被处理。

同样地, C 波段 WDM 光信号被 WDM 耦合器 45-2 波长多路分用成信道-1 到信道-t 的光信号。把各信道的波长多路分用光信号输入到各光接收器 46-s+1 到 46-s+t, 在那儿它们被接收并被处理。L 波段 WDM 光信号被 WDM 耦合器 45-3 波长多路分用成信道-1 到信道-u 的光信号。把各信道的波长多路分用光信号输入到各光接收器 46-s+t+1 到 46-s+t+u, 在那儿它们被接收并被处理。

20 接下来, 将描述第五个实施例的光传输系统中的每个光学放大装置的结构。

如图 11 所示, 三波长带 WDM 光信号经光纤 48 传输且因此而从前级复合光学放大装置输入到 WDM 耦合器 31。三波长带 WDM 光信号被 WDM 耦合器 31 波长多路分用成各波长带中的 WDM 光信号。把多路分用的 S⁺波段 WDM 光信号输入到 TDFA 32 中的 WDM 耦合器 37-1。多路分用的 C 波段 WDM 光信号输入到 EDFA 33 中的 WDM 耦合器 37-2。把多路分用的 L 波段 WDM 光信号输入到 GS-EDFA 34 中的 WDM 耦合器 37-3。

30 TDFA 32、EDFA 33 和 GS-EDFA 34 的结构除了掺杂稀土元素光纤作为放大光的介质和泵浦光的泵浦源彼此不同之外都是相同的。因此, 下面基本上仅对 TDFA 32 的结构进行说明。EDFA 33 和 GS-EDFA 34 的结构将只说明其与 TDFA 32 的不同之处。



下面描述 TDFA 32.

具有由耦合器 37-1 分解的较小光功率的 WDM 光信号被输入到光电二极管 (下文中简称为 PD) 54, 在那儿它被进行光电转换。总电流值对应于 S⁺ 波段 WDM 光信号的光功率。PD 54 输出该电流给操作单元 (OPU) 58 和模/数转换器 (下文中简称为 A/D) 73。A/D 73 将该输入值从模拟值转换成数字值并输出该数字转换结果给监视/控制电路 38。监视/控制电路 38 把所接收的数字值转换成具有对应于数字值的信息的光信号, 并将该光信号经控制线发送到前级中继器中的监视/控制电路。

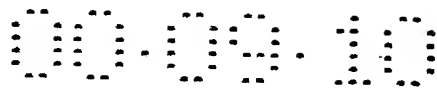
另一方面, 具有由耦合器 37-1 分解的较大光功率的 WDM 光信号被输入到掺铒光纤 (下文中简称为 TDF) 52。

当 TDF 52 吸收从 LD 55 发射的激光束时, TDF 52 中的电子受激且产生电子的粒子数反转。如果 WDM 光信号被输入到处在存在粒子数反转的状态下的 TDF 52, 则 WDM 光信号经受激发射被放大。在 LD 55 中, 首先一个半导体激光器通过从 LD 驱动电路 56 提供驱动电流给它而被激光振荡。之后一个固态激光器通过使用从半导体激光器发射的激光束被振荡, 因此泵浦 TDF 52 的激光束被从 LD 55 发射。

TDF 52 所放大的 WDM 光信号输入到用于以如 10: 1 的光功率比把光线分成两部分的耦合器 53。把已由耦合器 53 分枝的具有较小光功率的 WDM 光信号输入到 PD 57, 在那儿它被进行光电转换。PD 57 输出一个总电流给操作单元 58。

操作单元 58 用电阻 (图 11 中未示出) 把从 PD 54 和 57 输入的电流转换成相应的电压。操作单元 58 比较对应于相应的 PD 54 和 57 的电压并把对应于两个电压之间的差值的输出供给 LD 驱动电路 56。LD 驱动电路 56 根据操作单元 58 的输出判断由 TDF 52 所放大的 WDM 光信号的增益, 并调节 LD 55 的驱动电流以使增益成为一预定值。该预定值可通过调节把从 PD 54 和 57 接收的电流转换成电压的电阻的阻值之间的比率来改变。

耦合器 37-1 和 PD 54 有两个作用。第一个作用是检测输入到 TDF 52 的 WDM 光信号的光功率, 以使 TDF 52 的增益恒定。第二个作用是检测已被传输到这个中继器的 WDM 光信号的光功率, 以发送光功率的信息给前级中继器中的监视/控制电路。PD 54 和 A/D 73 对应于图 10 中所示的光功率计 36-



1.

另一方面，具有已被耦合器 53 分解的较大光功率的 WDM 光信号被输入到一个可变衰减器（下文中简称为 VAT）59。VAT 59 衰减输入光的光功率并输出被衰减的光。由 VAT 59 衰减的量是可变的。该衰减量由 VAT 驱动电路 70 来控制。

从 VAT 59 输出的 WDM 光信号被输入到补偿色散的色散补偿器（下文中简称为 DC）60。DC 60 可以是色散补偿光纤、色散补偿光栅等。DC 60 补偿前级中继器和相关中继器之间的光纤中产生的色散和相关中继器与下一级中继器之间的光纤中产生的色散。也就是说，相邻中继器之间的光纤中产生的色散的补偿是对两个中继器而不是只对它们之间的一个进行的。

从 DC 60 输出的 WDM 光信号被输入到 TDF 62。象 TDF 52 一样，TDF 62 通过吸收从 LD 驱动电路 66 提供的驱动电流的 LD 65 发射的激光束来放大 WDM 光信号。

把 TDF 62 所放大的 WDM 光信号输入到把光束分成四部分的耦合器。

把耦合器 63 所分离的第一个 WDM 光信号经属带通滤波器的光纤光栅滤波器（下文中简称为 EBG）76 输入到 PD 64。PD 64 对第一个 WDM 光信号进行光电转换。把 FBG 76 的通带的中心波长（中央频率）设置成使 FBG 76 仅通过 S^+ 波段 WDM 光信号的信道-s 的光束，即， S^+ 波段中的最长波长信道的光束。因此，由 PD 64 经光电转换所获得的电流值对应于 S^+ 波段中的最长波长信道的光功率。PD 64 把该电流输出到操作单元 68。

把耦合器 63 所分解的第二个 WDM 光信号经 EBG 77 输入到 PD 67，在那儿它被进行光电转换。把 FBG 77 的通带的中心波长设置成使 FBG 77 仅通过 S^+ 波段 WDM 光信号的信道-1 的光束，即， S^+ 波段中的最短波长信道的光束。因此，由 PD 67 经光电转换所获得的电流值对应于 S^+ 波段中的最短波长信道的光功率。PD 67 把该电流输出到操作单元 68。

把耦合器 63 所分解的第三个 WDM 光信号输入到 PD 61，在那儿它被进行光电转换。由 PD 61 经光电转换所获得的电流值对应于被 TDFA 32 所放大的 S^+ 波段 WDM 光信号的光功率。PD 61 把该电流供给操作单元 71。

把耦合器 63 所分离的第四个 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 35。由于四个 WDM 光信号成为将要被传输到下一级中继器的光信号，所以应该作这样

的设置，应使第四个 WDM 光信号的光功率大于第一到第三 WDM 光信号的光功率。

操作单元 68 用电阻把从 PD 64 和 67 提供的电流转换成电压（图 11 中未示出）。操作单元 68 比较对应于相应的 PD 64 和 67 的电压并把对应于两个电压之间的差值的输出供给 LD 驱动电路 66。LD 驱动电路 66 根据操作单元 68 的输出判断由 TDF 62 所放大的 WDM 光信号的增益梯度。操作单元 68 根据判断结果、通过调节 LD 66 的驱动电流来补偿 TDF 62 的增益波长特性，以消除该增益梯度。

监视/控制电路 38 从下一级中继器的监视/控制电路接收表示从相关中继器传输的三波长带 WDM 光信号的各波长带的光功率的信号。

根据该接收的信号，监视/控制电路 38 计算传输后的各波长带的光功率之间的差值。参照发送光功率与存储在监视/控制电路 38 中的 ROM 51 中的接收光功率之间的关联表，监视/控制电路 38 根据该差值计算 S⁺波段 WDM 光信号的光功率的目标值。

该关联表是根据相关中继器和下一级中继器之间存在的光纤中的受激拉曼散射、光纤中的损耗和相关中继器中的 WDM 耦合器 35 与下一级中继器中的 WDM 耦合器 31 中的损耗，预先通过理论计算或实际测量所形成的每一波长带的、用于确定要从相关中继器输出的 WDM 光信号的光功率与要输入到下一级中继器的 WDM 光信号的光功率之间的关系的列表。

监视/控制电路 38 根据目标值和存储在 ROM 74 中的一个 VAT 驱动电路 70 的控制值之间的关系、把该目标值转换成 VAT 驱动电路 70 的该控制值。监视/控制电路 38 向数字/模拟转换器（下文中简称为 D/A）72 输出该总控制值。D/A 把控制值从数字值转换成模拟值并把该总的模拟控制值输出给操作单元 71。

操作单元 71 比较 D/A 72 和 PD 61 的输出并提供一对应于该差值的输出给 VAT 驱动电路 70。根据操作单元 71 的输出，VAT 驱动电路 70 调节 VAT 59 的衰减量。结果，从相关中继器输出的 S⁺波段 WDM 光信号的光功率被调节到一个控制值。

除了用掺铒光纤代替 TDF 52 和用半导体激光器代替 LD 55 之外，EDFA 33 的结构均与 TDFA 32 的相同。色散补偿光纤 60 和操作单元 58、68、71 的各

种设置与 ROM 74 的内容被调节以便适于进行 C 波段 WDM 光信号的处理。

除了用长的掺铒光纤代替 TDA 52 和用半导体激光器代替 LD 55 之外 GS-EDFA 34 的结构均与 TDFA 32 的相同。色散补偿光纤 60 和操作单元 58、68、71 的各种设置与 ROM 74 的内容被调节以便适于进行 L 波段 WDM 光信号的处理。

在 1,550nm 波段内进行放大的 EDFA 33 与在 1,580nm 波段内进行放大的 GS-EDFA 34 在掺铒光纤长度内是不同的。虽然掺铒光纤本身具有 1,550nm 波段和 1,580nm 波段的放大波长带，但 1,550nm 波段内的放大系数小于 1,580nm 波段内的放大系数。因此，为了以与 1,550nm 波段内的近似相同的程度进行 1,580nm 波段内的光学放大，它必须使 1,580nm 波段内的光纤放大器的光纤长度为 1,550nm 波段内的光纤放大器的光纤长度的 10 倍。

上面已经对每个复合光学放大装置的结构参照图 11 进行了详细的说明。图 10 所示的三波长带 WDM 光信号发送装置的结构与每个复合光学放大装置的相似。

至于两种装置之间的对应关系，从 WDM 耦合器 21-1 输出的 S⁺波段 WDM 光信号对应于从 WDM 耦合器 31 输出的，从 WDM 耦合器 21-2 输出的 C 波段 WDM 光信号对应于从 WDM 耦合器 31 输出的，而从 WDM 耦合器 21-3 输出的 L 波段 WDM 光信号对应于从 WDM 耦合器 31 输出的。TDFA 22 对应于 TDFA 32，EDFA 23 对应于 EDFA 33，而 GS-EDFA 24 对应于 GS-EDFA 34。WDM 耦合器 25 对应于 WDM 耦合器 35，耦合器 27-1 到 27-3 对应于耦合器 37-1 到 37-3，而光功率计 26-1 到 26-3 对应于光功率计 36-1 到 36-3。

在下面的描述中，当三波长带 WDM 光信号发送装置的一个元件在上述对应关系下参照图 11 时，将尾标“os”加到该元件的标号上。例如，TDFA 22 中的 VAT 将称作“VAT 59os”，“TDF 52os”指的是 TDFA 22 中的 TDF 而“TDF 52”指的是 TDFA 32 中的 TDF。

下面，将描述第五个实施例的复合光学放大装置的工作原理和有益效果。

业已从前级中继器传输的三波长带 WDM 光信号被 WDM 耦合器 31 多路分用成相应的波长带的 WDM 光信号。由于各波长带的 WDM 光信号的工作原理和有益效果相同，在下面将针对 S⁺波段 WDM 光信号对它们进行说明。

多路分用的 S⁺波段 WDM 光信号以预定增益由 TDF 52 放大。在由 TDF 52 放大前后的 S⁺波段 WDM 光信号的光功率通过相应的 PD 54 和 57 检测。由于 TDF 52 泵浦光的光功率根据检测结果通过控制 LD 驱动电路 56 的操作单元 58 来调节，TDF 52 的增益几乎保持恒定。由于 TDF 52 的增益依赖于泵浦光的光功率，TDF 52 的增益则可通过调节 TDF 52 泵浦光的光功率恒定地保持在一预定值。

业已按该预定增益放大的 S⁺波段 WDM 光信号的功率被 VAT 59 衰减。

同时，操作单元 71 调节 VAT 59 的衰减量以便消除 PD 61 和 D/A 72 的输出之间的差值。PD 61 的输出对应于实际上从相关中继器输出到下一级中继器的 S⁺波段 WDM 光信号的光功率。D/A 72 的输出是一个用于均衡下一级中继器的各波长带的光功率的控制值和一个要从相关中继器输出到下一级中继器的 S⁺波段 WDM 光信号的光功率的控制值。由于 VAT 59 的衰减量以上述方式被调节，可使各波长带的光功率在下一级中继器中近似相等。

从 VAT 59 输出的 S⁺波段 WDM 光信号由 DC 60 进行色散补偿并接着在 TDF 62 中进行 S⁺波段的增益梯度的调节。同时，从 TDF 62 输出的 S⁺波段 WDM 光信号的增益梯度用相应的 PD 64 和 67 检测。由于 TDF 62 的泵浦光的光功率根据检测结果由控制监视/控制电路 38 的操作单元 68 来调节，操作单元 68 差不多可消除 S⁺波段中的增益梯度。由于 TDF 62 的增益波长特性依赖于泵浦光的光功率，增益梯度差不多可通过调节 TDF 62 的泵浦光的光功率来消除。

TDF 52 和 62 串级排列的原因在于因增益波长特性依赖于泵浦光的光功率使得增益和增益梯度都不能用单个的 TDF 来控制。

如上所述，在第五个实施例的光传输系统中，每个波长带中的增益梯度在每个中继器间隙中差不多可通过每个 TDFA 32、EDFA 33 和 GS-EDFA 34 中的掺杂稀土元素的光纤的两步设置来消除。另外，在第五个实施例的光传输系统中，由于预加重是通过 TDFA 32、EDFA 33 和 GS-EDFA 34 中的各 VAT 提供给相应的波长带的，所以三个波长带之间的增益梯度几乎可在下一级中继器中被消除。

之后，将描述第五个实施例的光传输系统中的三波长带 WDM 光信号发送装置的工作原理和有益效果。由于 WDM 光信号的工作原理和有益效果在从 WDM

被提高。

在上述设置中，监视/控制电路 28 或 38 根据受激拉曼散射、光纤 48 中的损耗和 WDM 耦合器 25 或 35 中的损耗来调节 TDFA 22 或 32、EDFA 23 或 33 和 GS-EDFA 24 或 34 的输出。如图 11 中的虚线所示，另一种设置中可另外
5 提供一个存储与噪声指数相关的数据的 ROM 75，且监视/控制电路 28 或 38 调节输出同时参考存储在 ROM 75 中的数据。

在这种情况下，与噪声指数相关的数据是从作为每个 TDFA 22 或 32、EDFA 23 或 33 和 GS-EDFA 24 或 34 的泵浦源的 LD 55 或 65 发射的激光束的每个光功率值的噪声指数-波长特性。

10 根据存储在 ROM 75 中的噪声指数-波长特性，监视/控制电路 38 校正参照发送光功率和存储在 ROM 51 中的接收光功率之间的对应表所计算的目标值。监视/控制电路 38 把一个校正的目标值输出到 ROM 74。

在上述设置中，监视/控制电路 38 通过比较要被相关中继器传输的各波长带中的 WDM 光信号的光功率与下一级中继器中各波长带的 WDM 光信号的光
15 功率来调节要被相关中继器传输的各波长带中的 WDM 光信号的光功率。另一种设置中在耦合器 37 和 PD 54 之间可有另一个 EBG，其通带的中心频率设置成只使该波长带的最短波长信道的光通过，且 PD 54 而不是 PD 61 的输出供给操作单元 71。这可使得零件数量减少并因此而简化电路。在这种情况下还可有一个 ROM 74。

20 [实施例 6]

第六个实施例指的是一种光传输系统。

该光传输系统是这样一种系统，一个两波长带 WDM 光信号发送装置产生一个两波长带 WDM 光信号、复合光学放大装置中转该两波长带 WDM 光信号几次及一个 WDM 光信号接收装置接收并处理该两波长带 WDM 光信号。该两波长
25 带 WDM 光信号包括一个设置在 C 波段中的具有 t 信道的 WDM 光信号和一个设置在 L 波段中的具有 u 信道的 WDM 光信号。

如图 12 所示，t 个光发送器 80-1 到 80-t 产生分别对应于 C 波段的信道-1 到信道-t 的光信号。例如，每个光发送器 20-1 到 20-t 可包括一个发射具有分配给相关信道的波长的激光束的半导体激光器、一个用要发送的信
30 息调制激光束的 MZ 调制器、和一个驱动并控制半导体激光器和 MZ 调制器的

监视/控制电路 82 接收光功率计 26-2 和 26-3 的输出、计算各波长带的光功率间的差值并调节 EDFA 23 和 GS-EDFA 24 的输出从而将可消除该差值。

另一方面，输入到 EDFA 33A 的 C 波段 WDM 光信号被 EDFA 33A 放大并输入到 WDM 耦合器 35A。EDFA 33A 的输出被监视/控制电路 85A 控制，从而

5 控制 C 波段 WDM 光信号的光功率。

输入到 GS-EDFA 34A 的 L 波段 WDM 光信号被 GS-EDFA 34A 放大，其输出被监视/控制电路 85A 控制。放大的 L 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 35A。

10 各波长带的 WDM 光信号被 WDM 耦合器 35A 波长多路复用且因此回复到两波长带 WDM 光信号。该两波长带 WDM 光信号被输入到光纤 48-2 并经它传输到下一级中继器。

在经光纤 48-2 传输之后，该两波长带 WDM 光信号被输入到下一级中继器的 WDM 耦合器 84B，在那儿它被波长多路分用成各波长带的 WDM 光信号。把各波长带的 WDM 光信号输入到相应的耦合器 37A-2 和 37A-3。

15 泵浦源 86B 与泵浦源 86A 具有相同的结构。从泵浦源 86B 发射的激光束经 WDM 耦合器 84B 输入到光纤 48-2。

20 C 波段 WDM 光信号被耦合器 37A-2 分解成两部分，它们被输入到光功率计 36A-2 和 EDFA 33B。同样，L 波段 WDM 光信号被耦合器 37A-3 分成两部分，它们被输入到光功率计 36A-3 和 GS-EDFA 34B。监视/控制电路 85B 发送一个光功率计 36A-2 的 C 波段 WDM 光信号的光功率的测量结果和一个光功率计 36A-3 的 L 波段 WDM 光信号的光功率的测量结果给前级监视/控制电路 85A。

监视/控制电路 85A 接收光功率计 36A-2 和 36A-3 的输出、计算各波长带的光功率间的差值并调节 EDFA 33A 和 GS-EDFA 34A 的输出从而将可消除该差值。

25 另一方面，输入到 EDFA 33B 的 C 波段 WDM 光信号被 EDFA 33B 放大并输入到 WDM 耦合器 35B。EDFA 33B 的输出被监视/控制电路 85B 控制，从而控制 C 波段 WDM 光信号的光功率。

30 输入到 GS-EDFA 34B 的 L 波段 WDM 光信号被 GS-EDFA 34B 放大，其输出被监视/控制电路 85B 控制。放大的 L 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 35B。

(repeater) 中近似相等。

增加量和减少量的每个 k 值是在考虑相关中继器和下一级中继器之间的光纤中的受激拉曼散射、光纤中的损耗、相关中继器中的 WDM 耦合器 35 中的损耗和下一级中继器中的 WDM 耦合器 84 中的损耗的情况下，经理论计算或实际测量而预先确定的。

在第五个实施例中 L 波段 WDM 光信号的每个信道的光功率的 $k=0$ (即，信道数没改变) 的增加量和减少量在发送光功率和接收光功率之间的对应表中是一样的。

下面，将描述第六个实施例的工作原理和有益效果。由于在已增加或减少 C 波段的信道数之后被进行的每个波长带中的增益梯度的控制和每个波长带间的增益梯度的控制与第五个实施例中的相同，这里就不再描述。

为了在上述光传输系统中将 C 波段的信道数设置到 m ($0 < m < t$)，监视/控制电路 82 将 m 信道分给光发送器 80-1 到 80- m 并使光发送器 80-1 到 80- m 产生光信号。

所产生的光信号被 WDM 耦合器 21-2 波长多路复用且最后的 C 波段光信号由 EDFA 23 放大。包括 m 波的放大的 C 波段 WDM 光信号被 WDM 耦合器 25 用包括 u 波的 L 波段 WDM 光信号波长多路分用成两波长带 WDM 光信号，它经光纤 48-1 传输。

在这种情况下，在光纤 48-1 中，对两波长带 WDM 光信号进行含有从泵浦源 86A 发射的泵浦光的受激拉曼散射，从而进行 WDM 耦合器 84A 的损耗的补偿。由于泵浦源 86A 的泵浦光在两个波长带中都放大 WDM 光信号，所以在经光纤 48-1 传输后它没用于均衡各波长带的光功率。

为了将 C 波段的信道数增加如 3，监视/控制电路 82 重新将 3 个信道分给光发送器 80- $m+1$ 到 80- $m+3$ 并使光发送器 80- $m+1$ 到 80- $m+3$ 产生光信号。

所产生的光信号被 WDM 耦合器 21-2 波长多路复用且由 EDFA 23 放大。

此时，监视/控制电路 82 参照在 C 波段 WDM 光信号的信道数增加三个 ($0 < k < t-1$) 时使用的 C 波段 WDM 光信号的每个信道的光功率的减少量 (存储在 ROM 51os 中) 调节 EDFA 23 的输出。即，因此在信道数增加之前、参照发送光功率和接收光功率之间的对应表用 P_0 (见图 4A) 作为参考来控制第一波长带的光功率，在增加三个信道后、它用一个小于 P_0 的新的光功率值

作为参考来控制。

在被放大之后，包括 $m+3$ 个波的 C 波段 WDM 光信号被 WDM 耦合器 25 用包括 u 个波的 L 波段 WDM 光信号波长多路分用成两波长带 WDM 光信号，它经光纤 48-1 传输。

- 5 另一方面，为了减少信道数，以与上述情况相同的方式，监视/控制电路 82 参照信道数已减少时将使用的每个信道光功率的增加量（存储在 ROM 51os 中）来设置一个新的参考。

10 由于采用了上述控制，所以在第六个实施例的光传输系统中，随着信道数的增加或减少很快地对各波长带进行预加重并因此两个波长带之间的增益梯度几乎可被消除。

另外，在第六个实施例的光传输系统中，由于两个波长带之间的增益梯度在每个中继器中几乎可被消除，使得各波长带所接收的 WDM 光信号的光学 SNR 均匀且因此可改进整个光传输系统的性能。

[实施例 7]

- 15 第七个实施例指的是一种光传输系统。

该光传输系统是这样一种系统，一个两波长带 WDM 光信号发送装置产生一个两波长带 WDM 光信号、复合光学放大装置转发该两波长带 WDM 光信号几次及一个 WDM 光信号接收装置接收并处理该两波长带 WDM 光信号。两波长带 WDM 光信号发送装置对 WDM 光信号进行波长带内预加重和波长带间预加重。
20 每个复合光学放大装置进行波长带间预加重、同时进行光学放大。该两波长带 WDM 光信号包括一个设置在 C 波段中的具有 t 信道的 WDM 光信号和一个设置在 L 波段中的具有 u 信道的 WDM 光信号。

25 如图 13 所示， t 个光发送器 20-s+1 到 20-s+t 产生分别对应于 C 波段的信道-1 到信道-t 的光信号。所产生的光信号被输入到相应的 VAT 90-1 到 90-t。

VAT 90-1 到 90-t 衰减输入光的光功率并输出该衰减了的光束。衰减量是可变的。衰减量由 VAT 驱动电路 91-1 到 91-t 控制，其设置由 VAT 控制电路 94 进行。

30 由于 C 波段的各光信号的光功率由相应的 VAT 90-1 到 90-t 来调节，所以可进行波长带内预加重。

从相应的 VAT 90-1 到 90-t 输出的光信号被输出到 WDM 耦合器 21-2, 在那儿它们被波长多路分用成一个 C 波段 WDM 光信号。该 C 波段 WDM 光信号被输入到耦合器 92-2 用以按如 10: 1 的光功率比将一个 WDM 光信号分离为成两部分。

- 5 把已由耦合器 92-2 分离的具有较小光功率的 C 波段 WDM 光信号输入到光谱分析仪 93-2, 以便检测输入光的波长和在该测得的波长处的光功率值, 在那儿 C 波段 WDM 光信号的光谱被测量。光谱分析仪 93-2 将一个测量结果输出给 VAT 控制电路 94。

- 10 把已由耦合器 92-2 分离的具有较大光功率的 C 波段 WDM 光信号输入到 EDFA 23。EDFA 23 的输出由监视/控制电路 95 控制, 从而 C 波段 WDM 光信号的光功率被控制。把 C 波段 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 25。

- 15 L 波段 WDM 光信号由与上述相同的块产生并包括 u 个光发送器 20-s+t+1 到 20-s+t+u、VAT 90-t+1 到 90-t+u、VAT 驱动电路 91-t+1 到 91-t+u、WDM 耦合器 21-3、耦合器 92-3、光谱分析仪 93-3、VAT 控制电路 94 和 GS-EDFA 24。所产生的 L 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 25。

C 波段 WDM 光信号和 L 波段 WDM 光信号由 WDM 耦合器 25 波长多路复用成一个两波长带 WDM 光信号, 它被输入到作为光传输线的光纤 48-1 并经它被传输到下一级中继器。

- 20 在经光纤 48-1 传输后, 两波长带 WDM 光信号被输入到下一级中继器的 WDM 耦合器 31A, 在那儿它被波长多路分用成各波长带中的 WDM 光信号。各波长带中的 WDM 光信号被输入到耦合器 27-2 和 27-3。

- 25 C 波段 WDM 光信号被耦合器 27-2 分解成两部分, 它们被输入到光功率计 26-2 和 EDFA 33A。同样, L 波段 WDM 光信号被耦合器 27-3 分解成两部分, 它们被输入到光功率计 26-3 和 GS-EDFA 34A。监视/控制电路 85A 发送一个光功率计 26-2 的 C 波段 WDM 光信号的光功率的测量结果和一个光功率计 26-3 的 L 波段 WDM 光信号的光功率的测量结果给前级监视/控制电路 95。

监视/控制电路 95 接收光功率计 26-2 和 26-3 的输出、计算各波长带的光功率间的差值并调节 EDFA 23 和 GS-EDFA 24 的输出从而将可消除该差值。

- 30 另一方面, 输入到 EDFA 33A 的 C 波段 WDM 光信号被 EDFA 33A 放大并输入到 WDM 耦合器 35A。EDFA 33A 的输出被监视/控制电路 85A 控制, 从而

控制 C 波段 WDM 光信号的光功率。

输入到 GS-EDFA 34A 的 L 波段 WDM 光信号被 GS-EDFA 34A 放大，其输出被监视/控制电路 85A 控制。放大的 L 波段 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 35A。

- 5 各波长带的 WDM 光信号被 WDM 耦合器 35A 波长多路复用且因此回复到两波长带 WDM 光信号。该两波长带 WDM 光信号被输入到光纤 48-2 并经它传输到下一级中继器。

- 10 两波长带 WDM 光信号被复合光学放大装置按这样一种方式转发几次，这种方式使得该信号被多路分用成各波长带的 WDM 光信号、受到光功率放大和控制，并且按照与第五个实施例中无 S⁺波段 WDM 光信号的情况相同的方式被波长多路复用。对各波长带的 WDM 光信号的光功率放大和控制由根据下一级复合光学放大装置中的光功率计 36-2 和 36-3 的输出所控制的 EDFA 33 和 GS-EDFA 34 来进行。

- 15 从作为最后一级中继器的复合光学放大装置输出的两波长带 WDM 光信号被输入到 WDM 耦合器 41，在那儿它被多路分用成各波长带中的 WDM 光信号。各波长带中的 WDM 光信号被输入到耦合器 36Z-2 和 36Z-3。

C 波段 WDM 光信号被耦合器 37Z-2 分解成两部分，它们被输入到光功率计 36Z-2 和 EDFA 43。把光功率计 36Z-2 的 C 波段 WDM 光信号的光功率的测量结果发送到前级监视/控制电路 38Z。

- 20 由 EDFA 43 放大的 C 波段 WDM 光信号输入到耦合器 96-2，以便把光如按 10: 1 的光功率比分枝成两部分。

- 25 把已由耦合器 92-2 分枝的具有较小光功率的 WDM 光信号输入到光谱分析仪 97-2，在那儿测量 C 波段 WDM 光信号的光谱。光谱分析仪 97-2 将一个光谱测量结果输出给 VAT 控制电路 95，它将所接收的光谱测量结果原样提供给 VAT 控制电路 94。

把已由耦合器 92-2 分枝的具有较大光功率的 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 45-2，在那儿被波长多路分用成信道-1 到信道-t 的光信号。各信道的光信号被输入到相应的光接收器 46-s+1 到 46-s+1+t，在那儿它们被接收和处理。

- 30 L 波段 WDM 光信号由与上述相同的块接收和处理并包括耦合器 37Z-3、

光功率计 36Z-3、GS-EDFA 44、耦合器 96-3、光谱分析仪 97-3、WDM 耦合器 45-3 和光信号接收部分 46-s+t+1 到 46-s+t+u.

下面将详细说明每个复合光学放大装置的结构.

除了用均衡光纤放大器的增益的光纤 98 代替均衡光纤放大器的增益的
5 TDF 62、FBG 76 和 77、PD 64 和 67、操作单元 68、LD 驱动电路 66 和 LD 65 之外每个复合光学放大装置的每个 EDFA 33 和 GS-EDFA 34 均与第五个实施例中的相同.

基于下述原因而使用以上结构. 也就是, 通过测量最短波长光信号和最
10 长波长光信号的增益来均衡 EDF 78 增益波长特性的方法不容易均衡 EDF 78 增益波长特性, 这是因为对输入到相关的复合光学放大装置的 WDM 光信号进行了波长带内预加重.

如图 14 所示, 从前级复合光学放大装置经光纤 48 已传输的两波长带 WDM
光信号被输入到 WDM 耦合器 31, 在那儿它被波长多路分用成各波长带的 WDM
光信号. 把被多路分用的 C 波段 WDM 光信号输入到 EDFA 33 的耦合器 37-2.
15 把被多路分用的 L 波段 WDM 光信号输入到 GS-EDFA 34 的耦合器 37-3.

由于 EDFA 33 和 GS-EDFA 34 的结构仅在掺杂稀土元素的光纤和泵浦它的
泵浦源方面不一样, 所以只详细描述 EDFA 33 的结构及仅描述 GS-EDFA 34
的结构的不同之处.

下面描述 EDFA 33.

20 把具有耦合器 37-2 所分解的较小光功率的 WDM 光信号输入到 PD 54,
它在那儿进行光电转换. PD 54 输出一个最终电流值给操作单元 58 和 A/D 73.
A/D 73 把该输入的电流值从模拟值转换到数字值并将该数字电流值输出到监
视/控制电路 38. 监视/控制电路 38 把所接收的数字值转换成光信号并将该
光信号经控制线发送到前级中继器的监视/控制电路 38.

25 另一方面, 把耦合器 37-2 所分解的具有较大光功率的 WDM 光信号输入
到掺铒光纤 (以下简称为 EDF) 78. 粒子数反转通过吸收从 LD 55 发射的激
光束形成在 EDF 78 中, 且 EDF 78 经受激发射放大 WDM 光信号. 从 LD 驱动
电路 56 提供一个驱动电流, LD 55 发射激光束用于泵浦 EDF 78.

EDF 78 所放大的 WDM 光信号被输入到耦合器 53. 把耦合器 53 所分解
30 的具有较小光功率的 WDM 光信号输入到 PD 57, 在那儿对它进行光电转换. PD

57 输出一个最终电流值给操作单元 58。

操作单元 58 通过使用电阻（图 14 中未示出）分别把来自 PD 54 和 57 的电流转换成电压。操作单元 58 比较对应于各 PD 54 和 57 的电压并提供一个对应于两电压之间的差值的输出给 LD 驱动电路 56。LD 驱动电路 56 根据
5 操作单元 56 的输出判断 EDF78 所放大的 WDM 光信号的增益，并对 LD 55 的驱动电流进行调节，以使增益变成一个预定值。

另一方面，把耦合器 53 所分解的具有较大光功率的 WDM 光信号输入到 VAT 59。VAT 59 衰减该输入 WDM 光信号的光功率并输出衰减的 WDM 光信号，该光信号的衰减量由 VAT 驱动电路 70 所控制。

10 光功率已被 VAT 59 衰减的 WDM 光信号被输入到 DC 60，在那儿对其进行色散补偿。

从 DC 60 输出的 WDM 光信号被输入到一个光学滤波器 98。光学滤波器 98 是一个用于用于使 EDF 78 的增益波长特性近似平坦的增益均衡器。

从光学滤波器 98 输出的 WDM 光信号被输入到一个用于把光分解成两部
15 分的耦合器 99。

把耦合器 99 所分离的一个 WDM 光信号输入到 PD 61，它在那儿进行光电转换。PD 61 输出一个最终电流值给操作单元 71。把耦合器 99 所分离的另一个 WDM 光信号输入到 WDM 耦合器 35，在那儿它被转换成一个要被传输到下一级中继器的光信号。

20 监视/控制电路 38 从下一级中继器的监视/控制电路接收表示从相关中继器传输的两波长带 WDM 光信号的相应波长带的光功率的信号。根据所接收的信号，监视/控制电路 38 计算传输后的各波长带的光功率之间的差值。参照存储在监视/控制电路 38 的 ROM 51 中的发送光功率和接收光功率之间的对应表，监视/控制电路 38 根据该差值计算要从相关中继器输出的 C 波段 WDM
25 光信号的光功率的目标值。监视/控制电路 38 根据存储在 ROM 74 中的目标值和 VAT 驱动电路 70 的控制值之间的关系，将目标值转换成 VAT 驱动电路 70 的控制值。监视/控制电路 38 将最终控制值输出到 D/A 72。D/A 将该控制值从数字值转换到模拟值并输出该最终模拟控制值给操作单元 71。

操作单元 71 对 D/A 72 的输出与由电阻（图 14 中未示出）将 PD 61 的
30 电流转换成的电压进行比较，并提供一个对应于该差值的输出给 VAT 驱动电

路 70。根据操作单元 71 的输出，VAT 驱动电路 70 调节 VAT 59 的衰减量。结果，把从相关中继器输出的 C 波段 WDM 光信号的光功率调节到一个控制值。

除了 EDF 78 由一个长的、掺铒光纤代替之外，GS-EDFA 34 的结构与 EDFA 33 的相同。对色散补偿光纤 60 和操作单元 58、71 的各种设置和 ROM 74 的内容进行调节，以便适于进行 L 波段 WDM 光信号的处理。

上面已经参照图 14 对每个复合光学放大装置的结构进行了详细的描述。图 13 所示的两波长带 WDM 光信号发送装置的 EDFA 33 和 GS-EDFA 34 的结构与每个复合光学放大装置的相同。

至于两个装置之间的对应关系，从 WDM 耦合器 21-2 输出的 C 波段 WDM 光信号对应于从 WDM 耦合器 31 输出的光信号且从 WDM 耦合器 21-3 输出的 L 波段 WDM 光信号对应于从 WDM 耦合器 31 输出的光信号。EDFA 23 对应于 EDFA 33 而 GS-EDFA 24 对应于 GS-EDFA 34。WDM 耦合器 25 对应于 WDM 耦合器 35、耦合器 27-2 和 27-3 对应于耦合器 37-2 和 37-3、及光功率计 26-2 和 26-3 对应于光功率计 36-2 和 36-3。

接下来将描述第七个实施例的光传输系统的工作原理和有益效果。因为，涉及到波长带内预加重后进行的波长带间预加重的控制与第五个实施例中的相同，此处不再描述。

首先，将说明波长带内预加重。

从两波长带 WDM 光信号发送装置输出的两波长带 WDM 光信号被放大并被为复合光学放大装置的中继器所中转，同时经光纤 48 传输，并接着把从两波长带 WDM 光信号输入到 WDM 光信号接收装置。

在光信号接收装置中，用光谱分析仪 97-2 测量 C 波段 WDM 光信号的光谱。把测量结果经用于控制信号传输的控制线发送到两波长带 WDM 光信号发送装置中的监视/控制电路 95。或者，两波长带 WDM 光信号中的一个光信号可以用来替代使用控制线。在这种情况下，例如，使用 SDH（同步数字系列）区段开销的未定义字节。区段开销是 SDH 中的一个存储信息的部分，该信息必须操作网络，例如，维护信息和状态监视器。

监视/控制电路 95 将该测量结果输出到 VAT 控制电路 94。

根据该测量结果，VAT 控制电路 94 确定一个在 C 波段 WDM 光信号中的具有最佳光学 SNR 值的光信号。VAT 控制电路 94 将信号提供给对应于相应光

并在 TDFA 32、EDFA 33、GS-EDFA 34 与 WDM 耦合器 35 之间提供光学适配器 107-1 到 107-3。监视/控制电路 38 中的 ROM 51 的内容根据增加波长带个数的减少或增加填写。

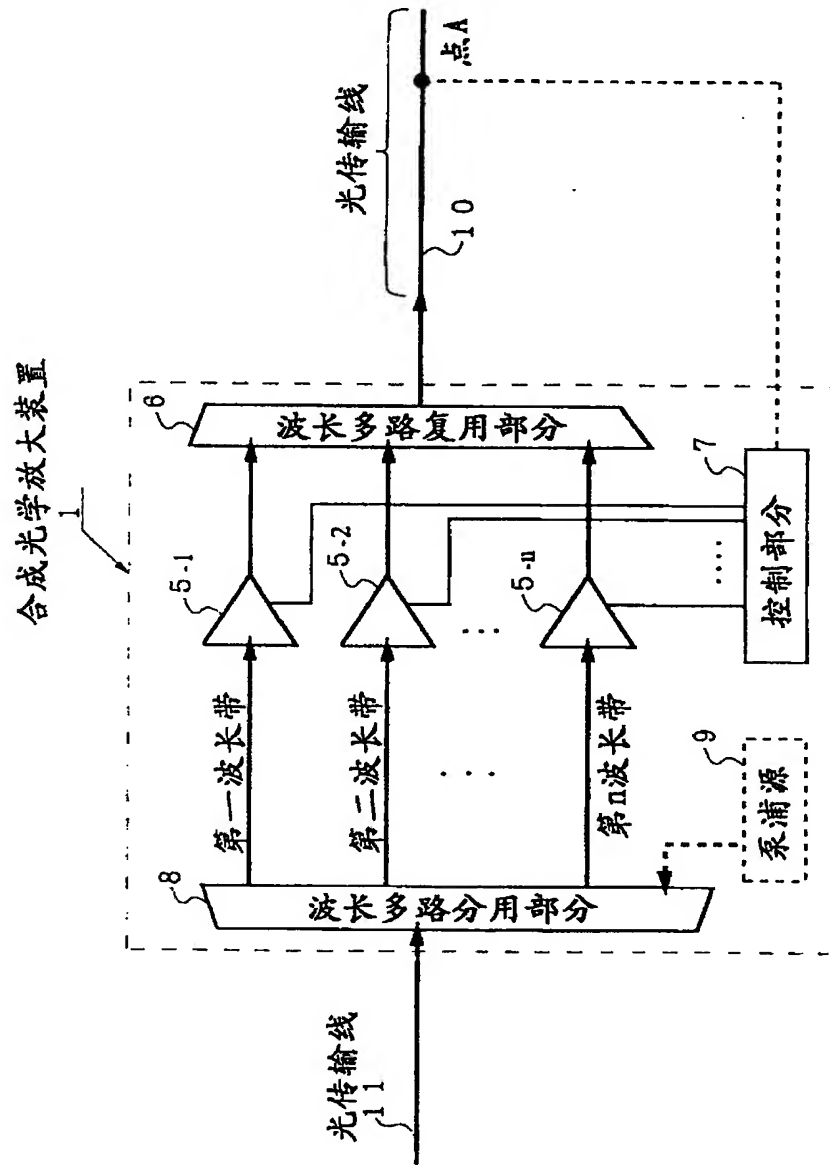
第五个实施例指的是三波长带 WDM 光信号处理的情况，而第七个实施例 5 指的是两波长带 WDM 光信号处理的情况。但是，本发明并不限于这种情况并可适用于任意个波长带的 n 波长带 WDM 光信号处理的情况。

第五个实施例指的是各波长带中的 WDM 光信号沿相同方向传输的单向传输的情况。但是，正如参照图 21 和 22 所描述的，由于在单向传输和双向传输中获得的相同的结果，本发明也可适用于双向传输。

10 本发明并不限于上述实施例且可在不脱离本发明的精神和范围的情况下进行各种变型。任何改进可以是针对元件的一部分或全部来进行。

说明书附图

图 1



00:09:10

图 2

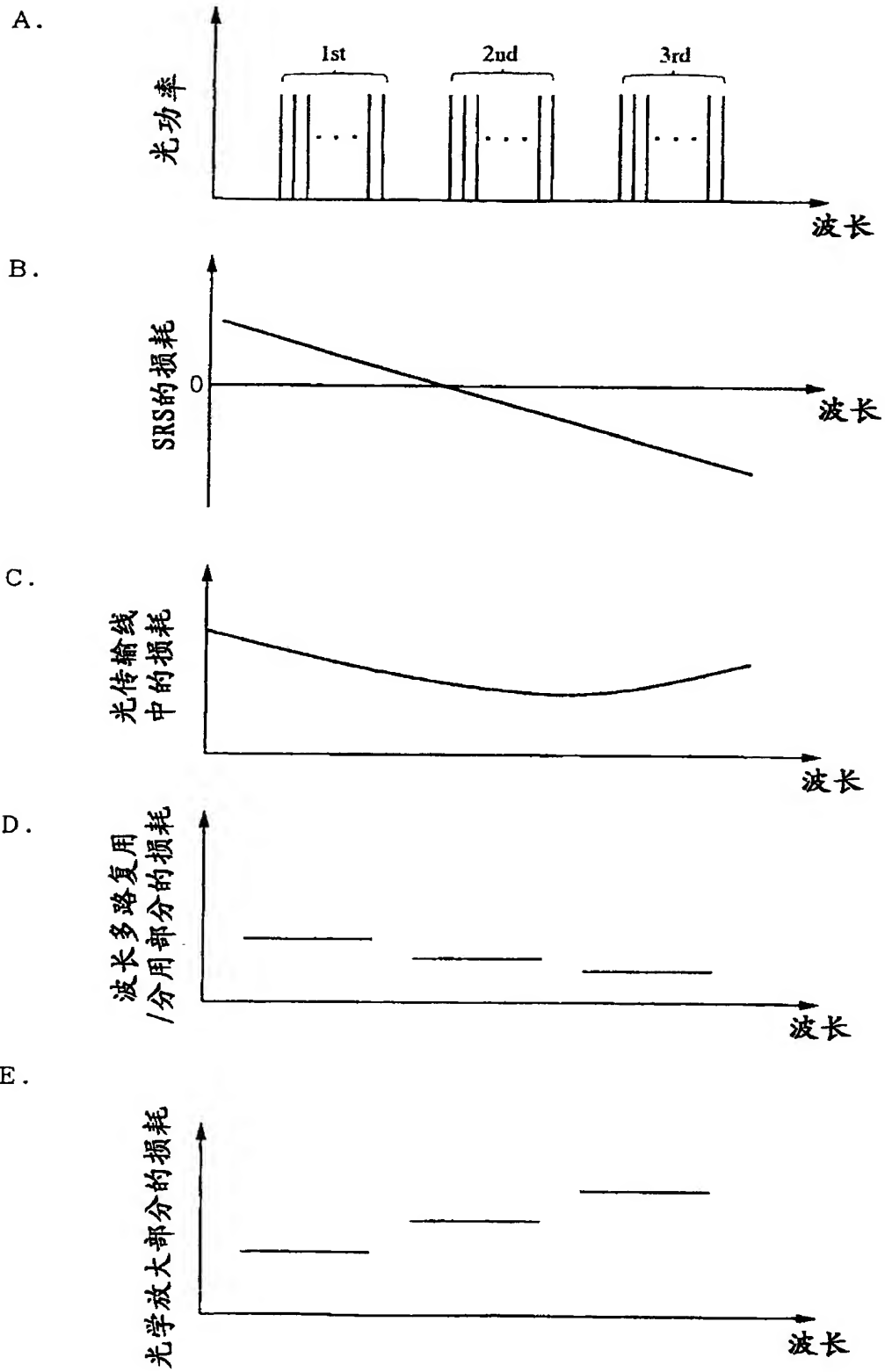
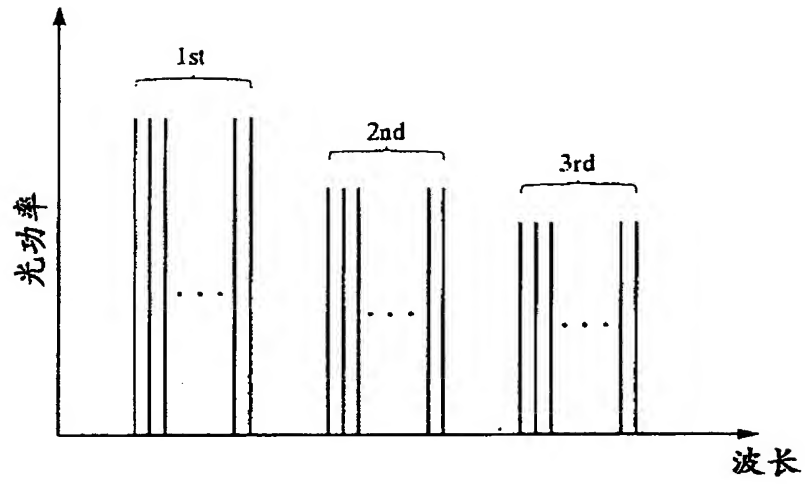


图 3

A.



B.

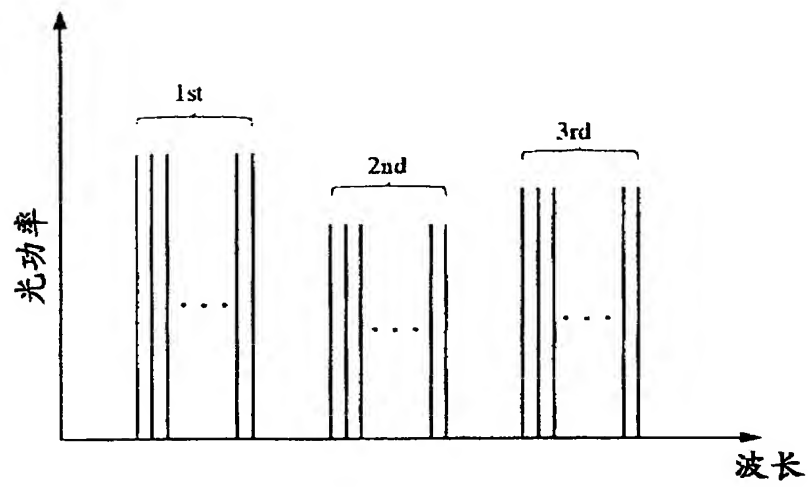
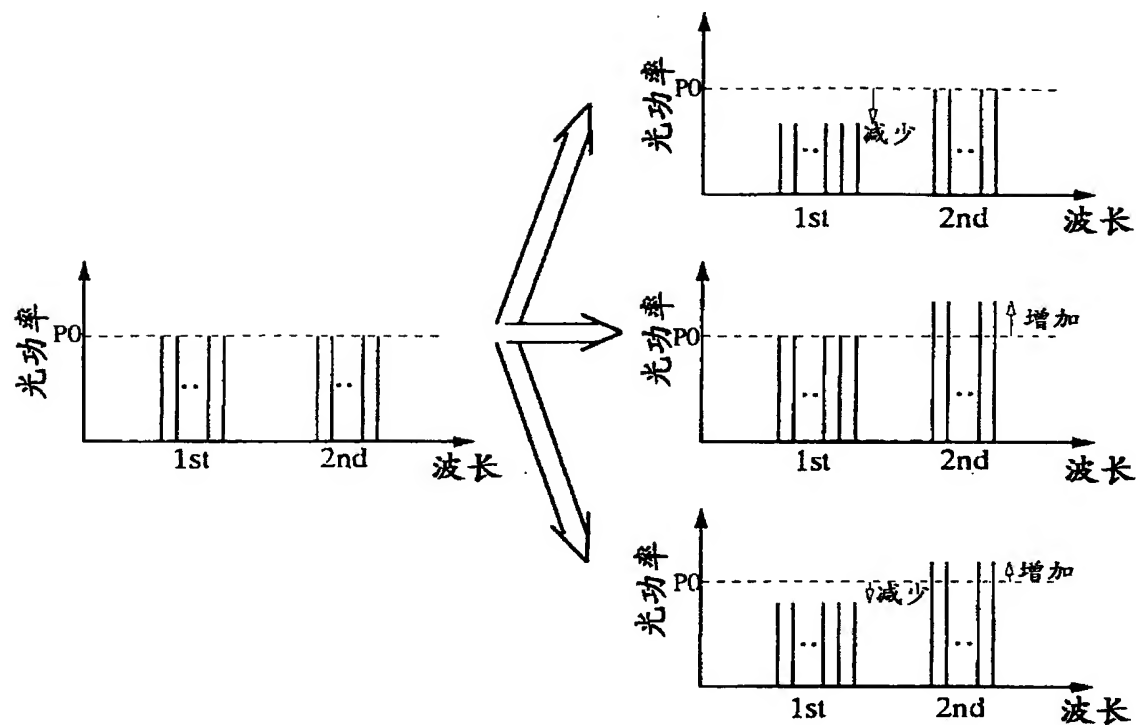


图 4

A.



B.

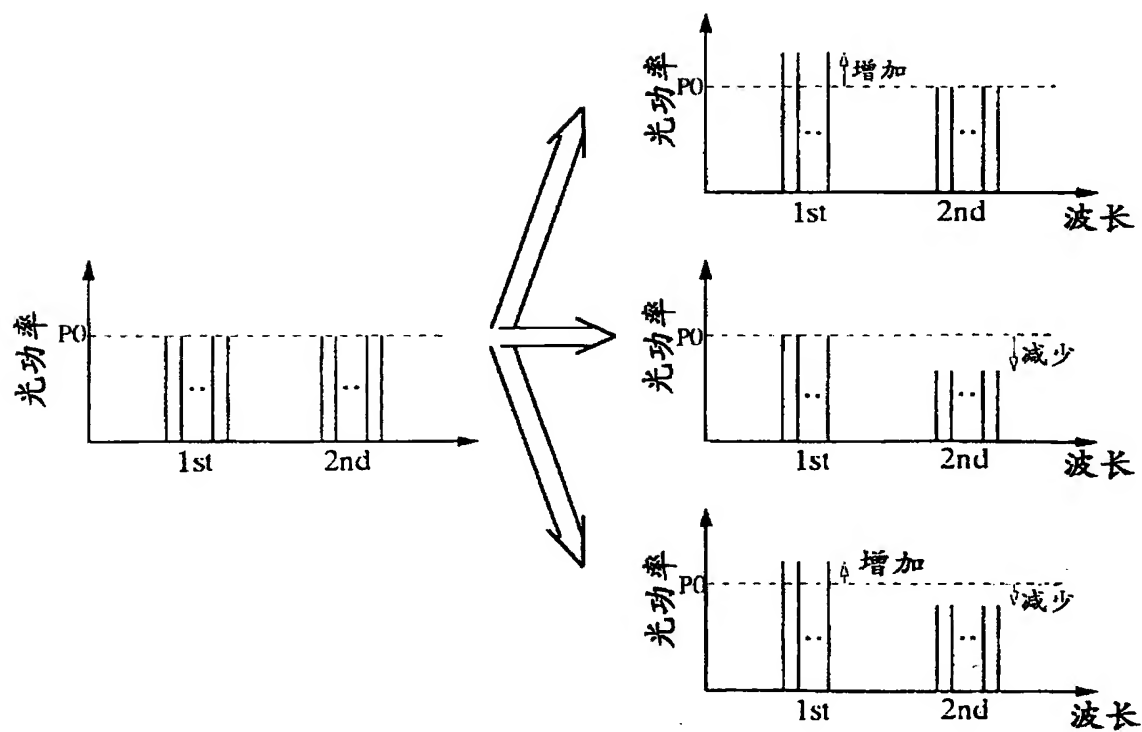
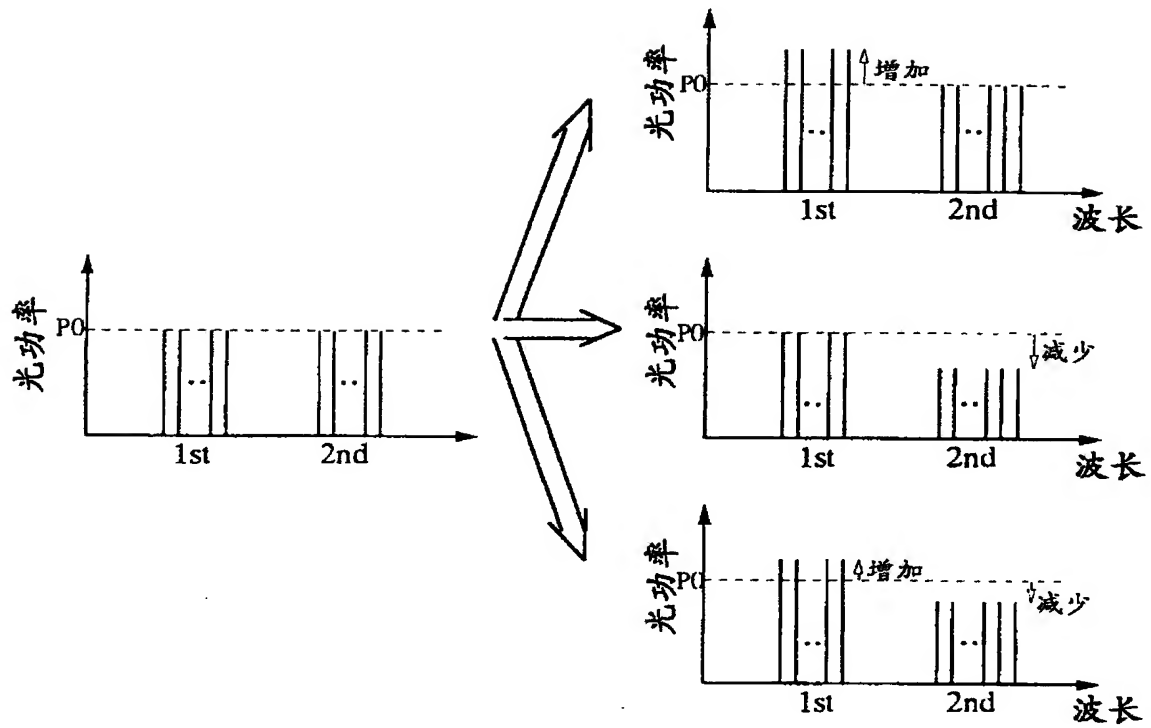


图 5

A.



B.

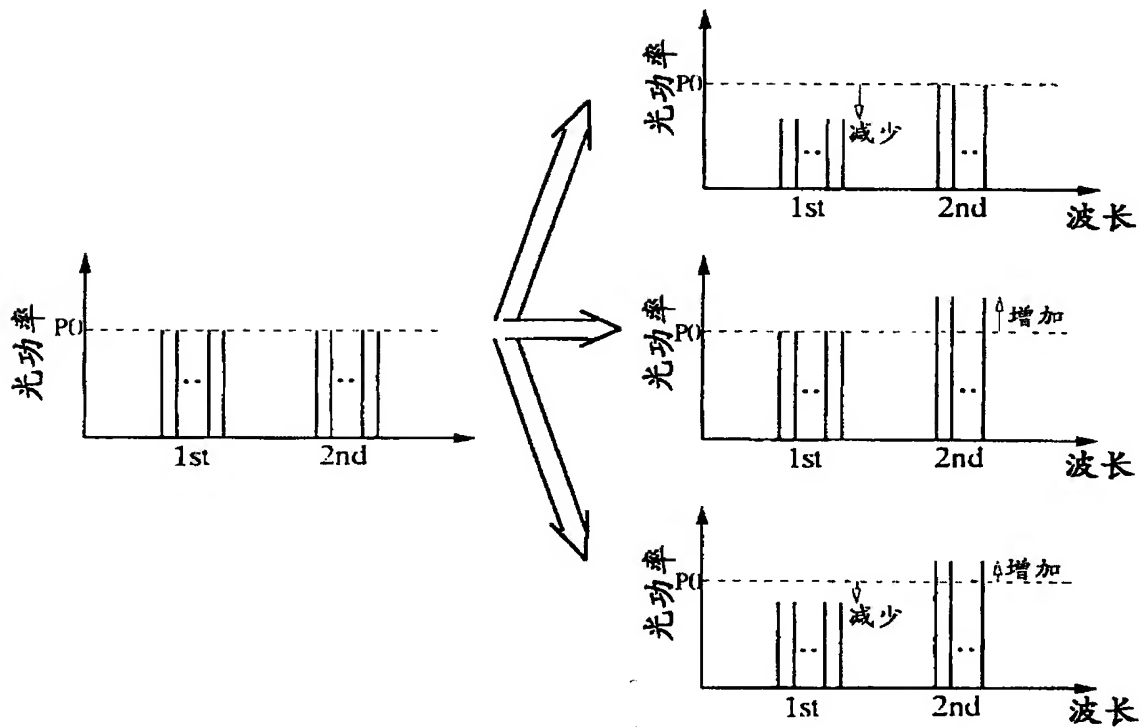


图 6

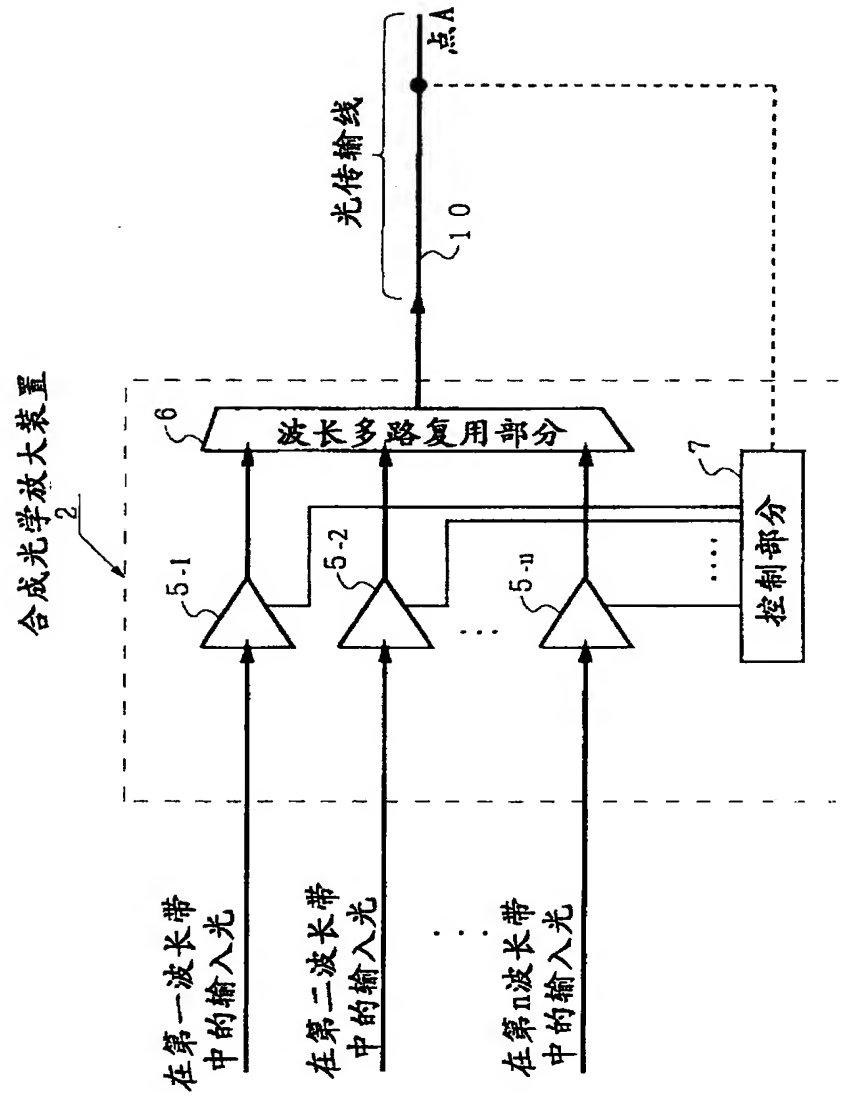


图 7

宽波长带光学发送设备

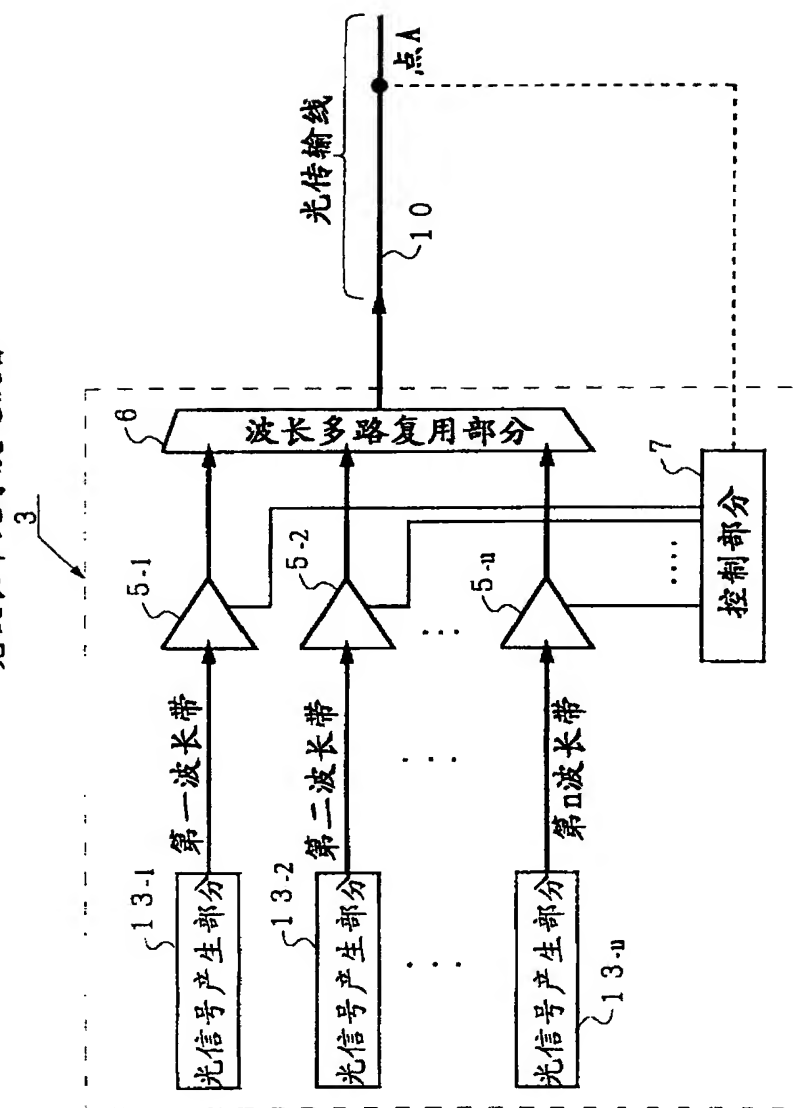


图 8

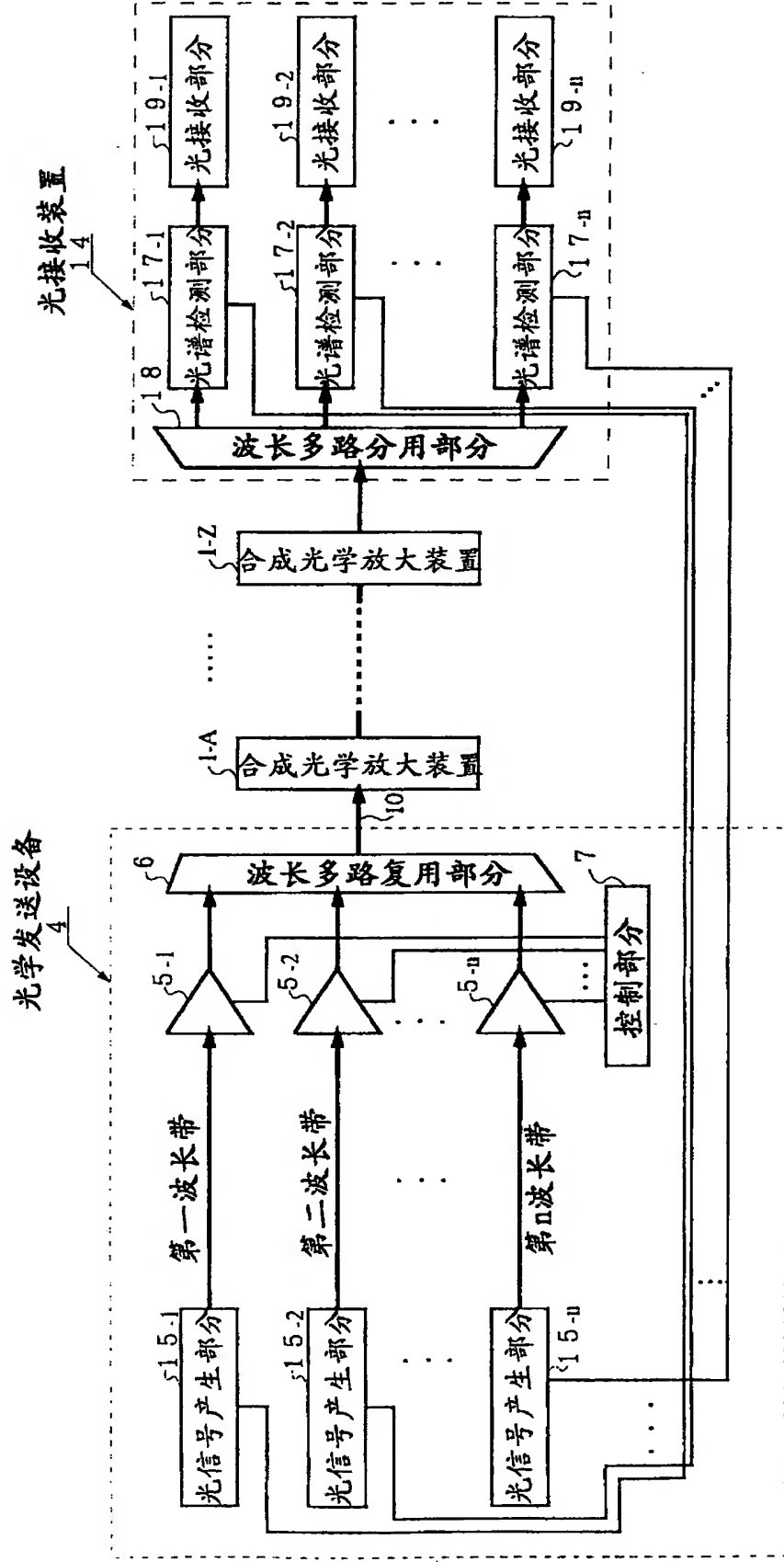


图 9

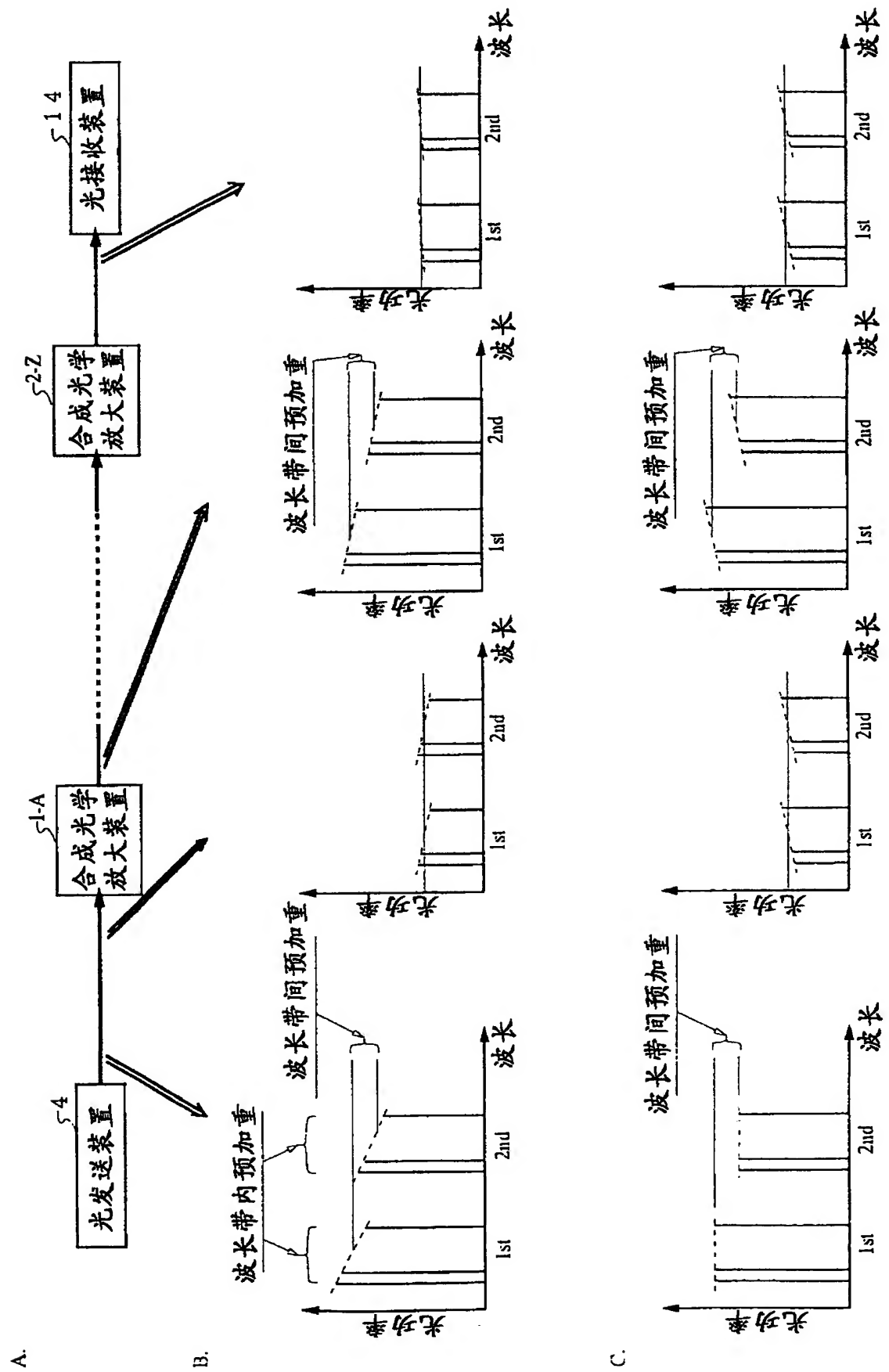
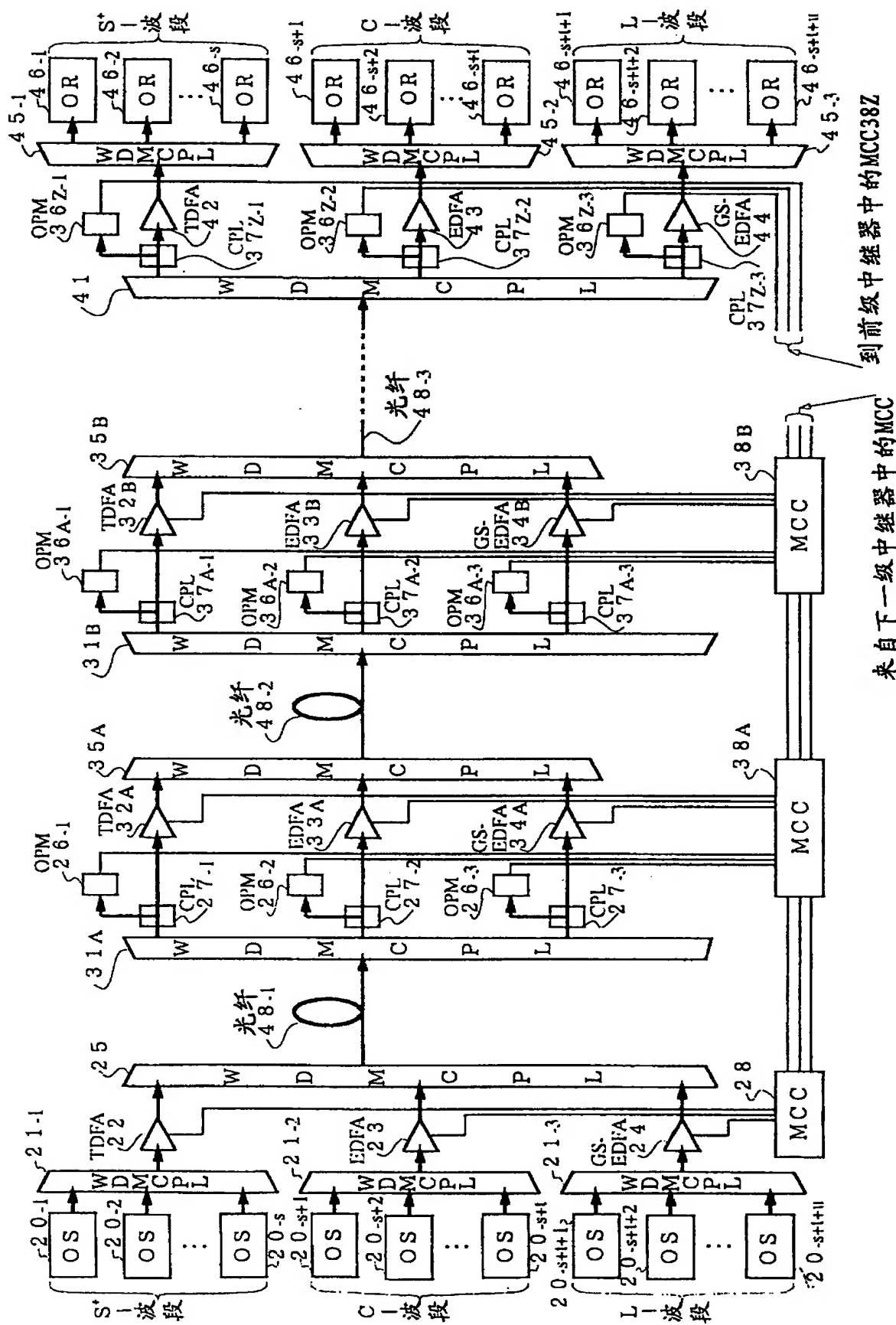


图 10



来自下一级中继器中的MCC

到前级中继器中的MCC38Z

3.3.3.3

图 11

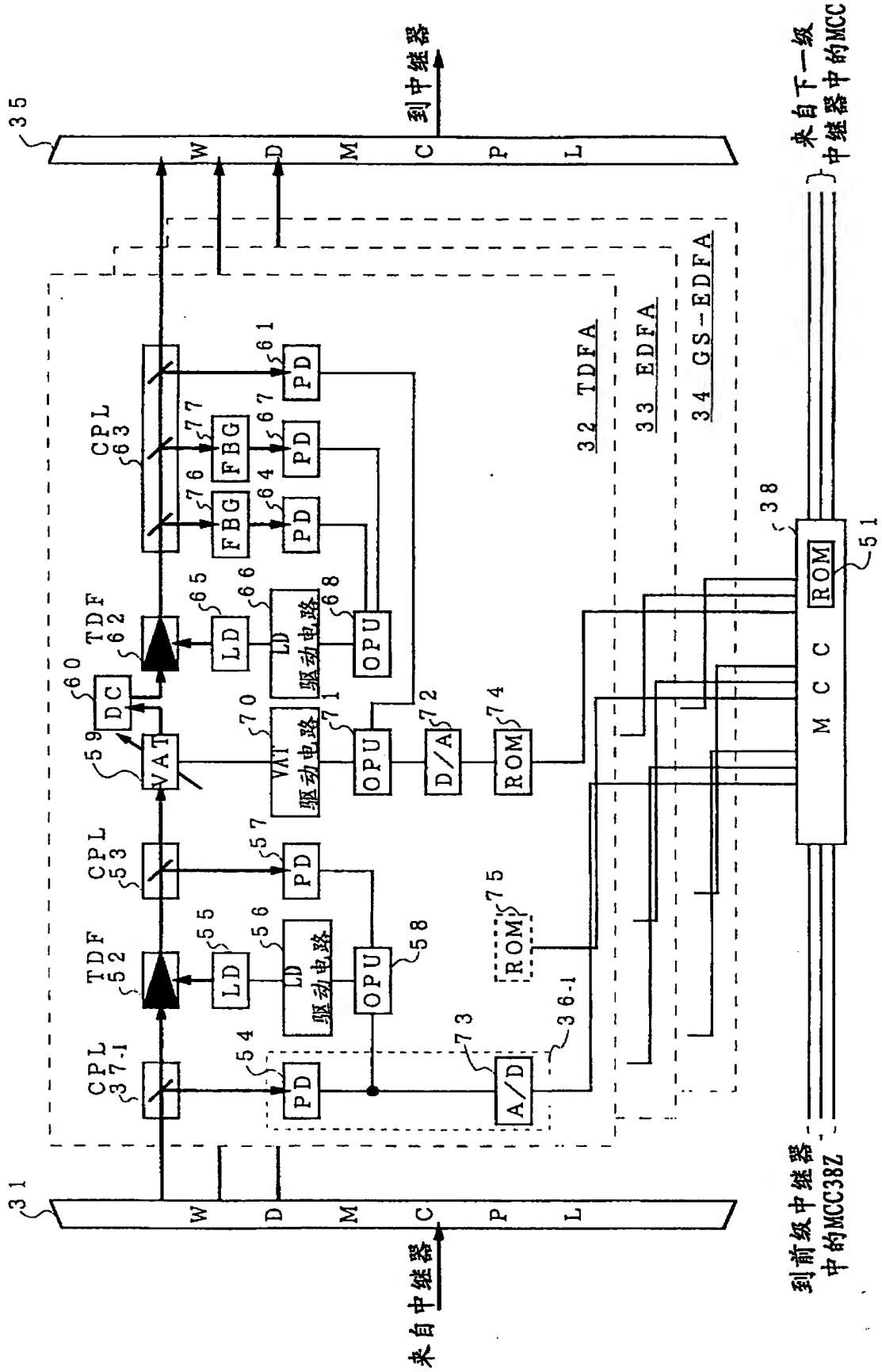
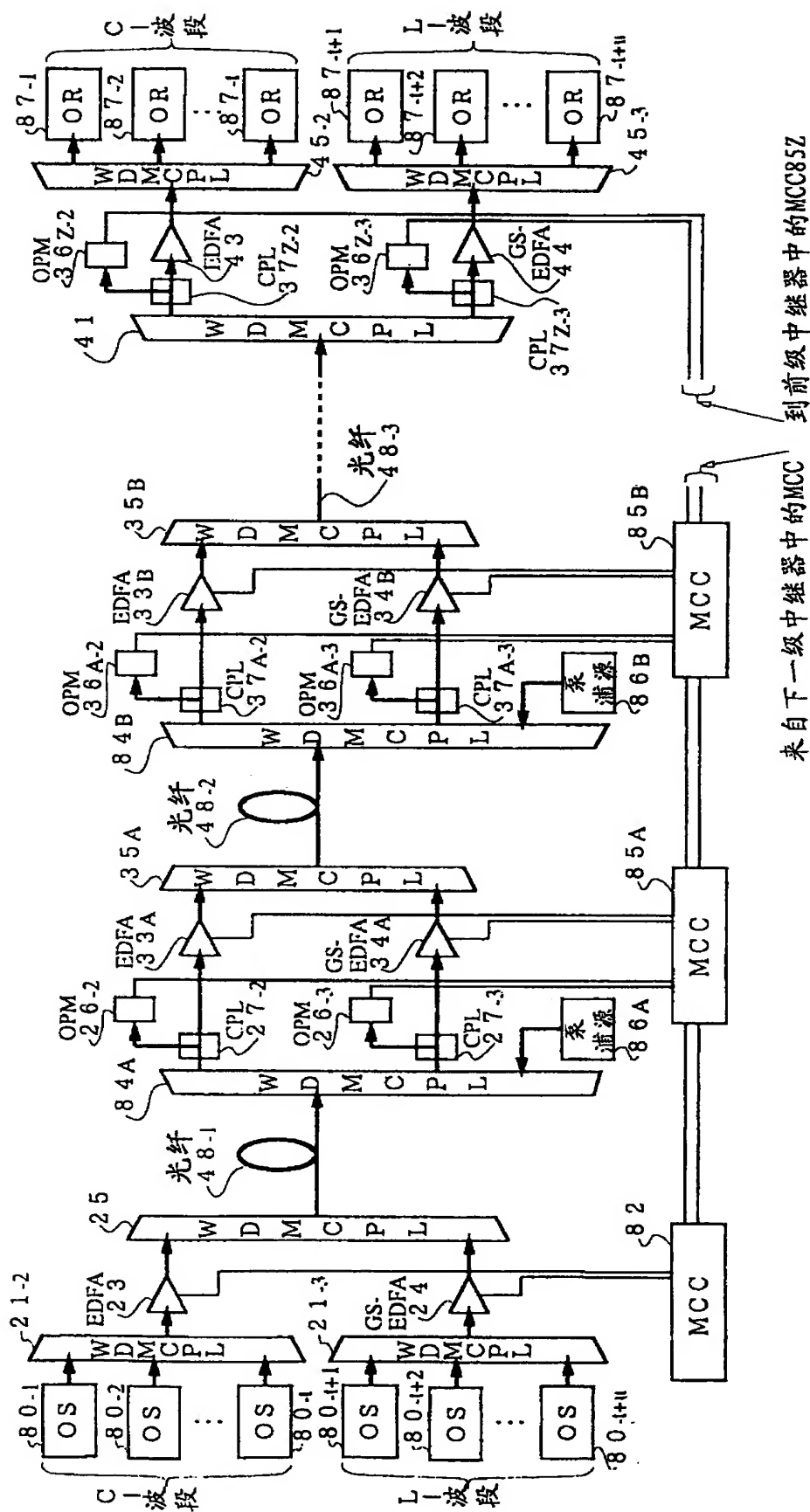


图 12



来自下一级中继器中的MCC

到前级中继器中的MCC85Z

The diagram illustrates a multi-stage optical transmission system. It consists of several stages, each containing a Wavelength Division Multiplexing (WDM) block, an Optical Add-Drop Multiplexer (OADM), and an Optical Amplifier (OA). The stages are connected by optical fibers. The system is controlled by a central Control and Monitoring Unit (CMU) and a Network Management System (NMS). The diagram shows the flow of optical signals through the system, including the addition and dropping of wavelengths at each stage. The system is designed to handle multiple wavelengths simultaneously, allowing for high-capacity data transmission.

图 14

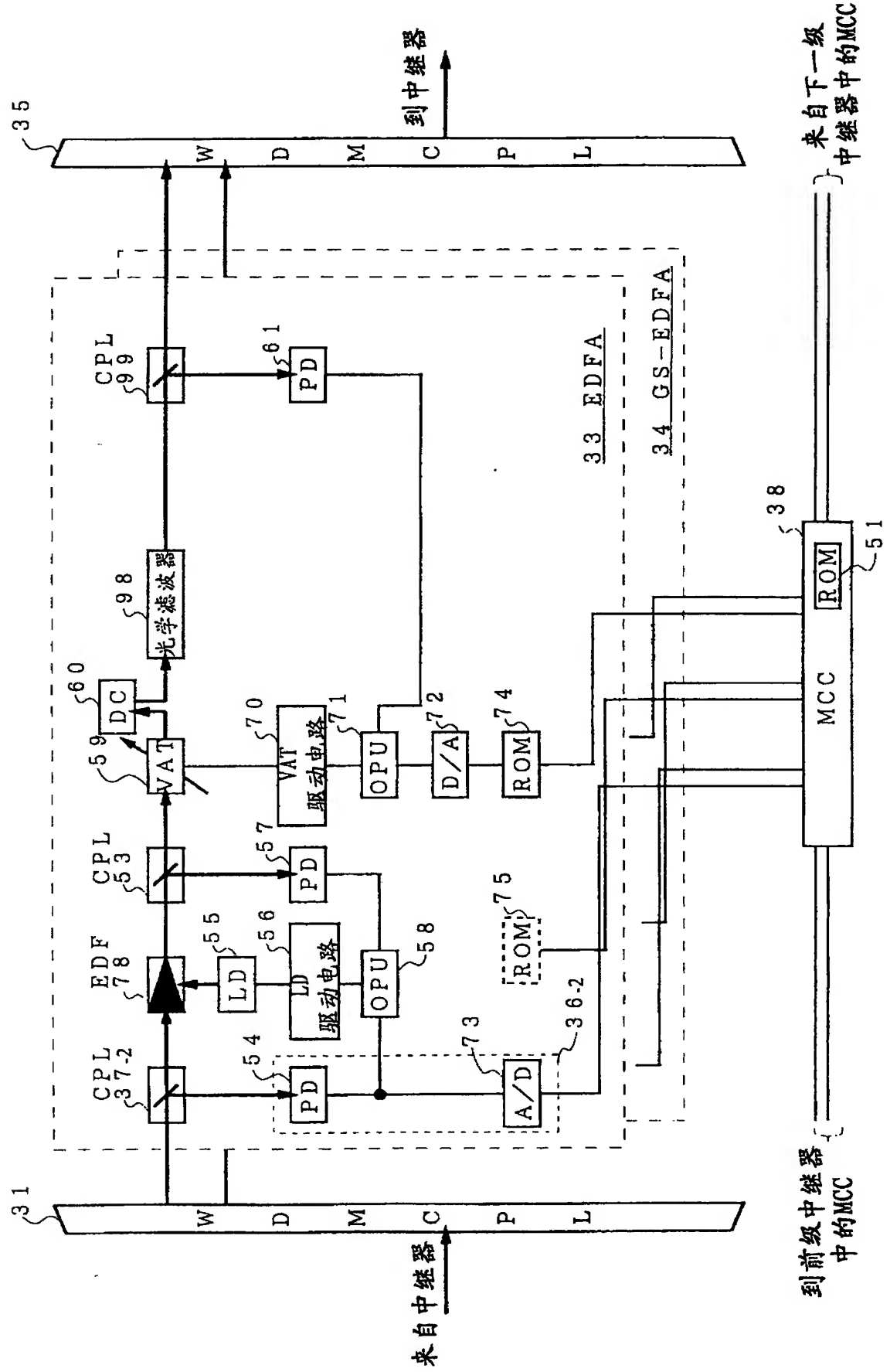
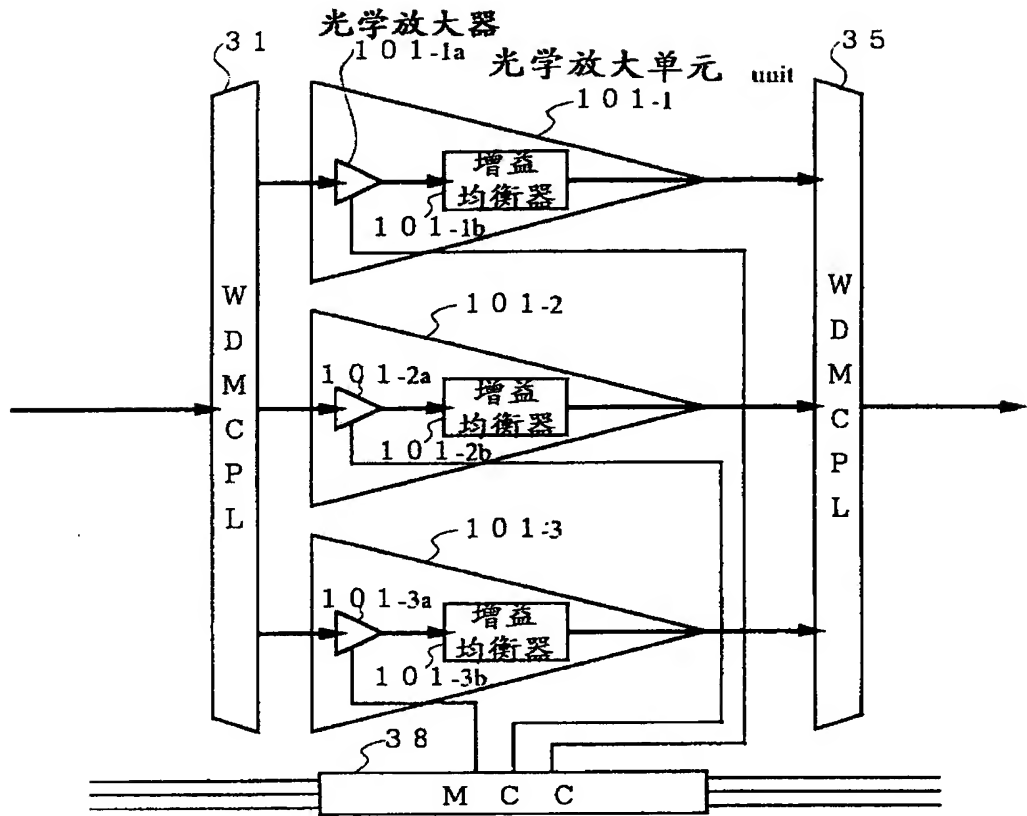


图 15

A.



B.

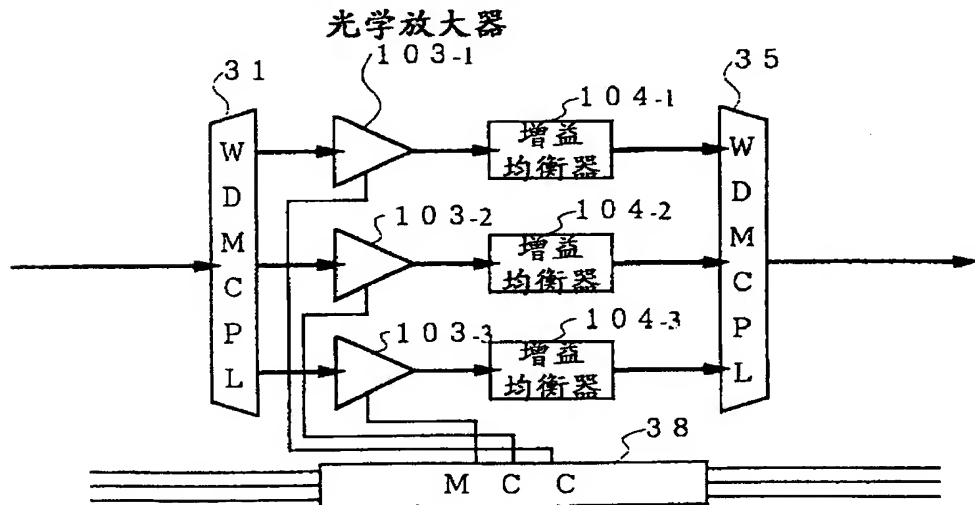
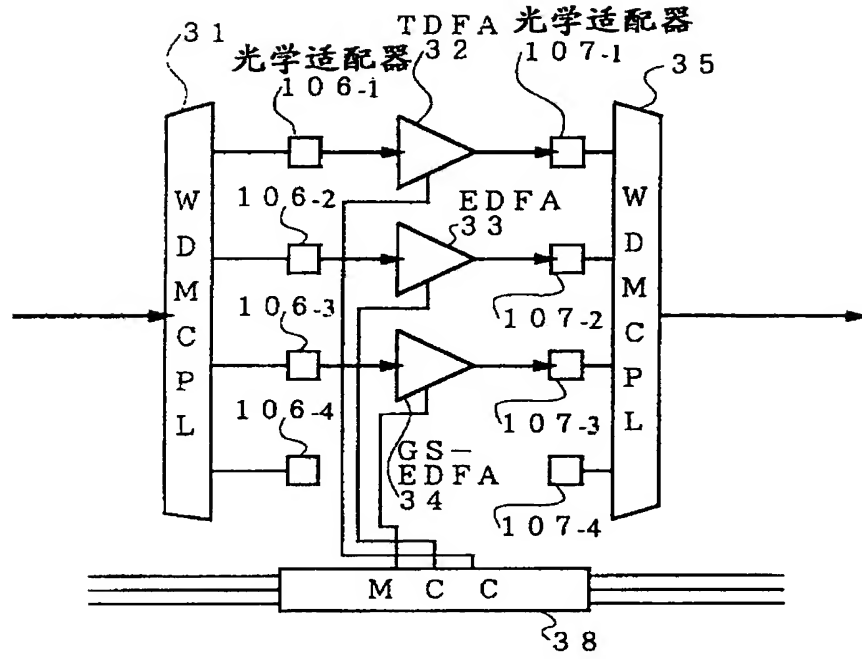


图 16

A.



B.

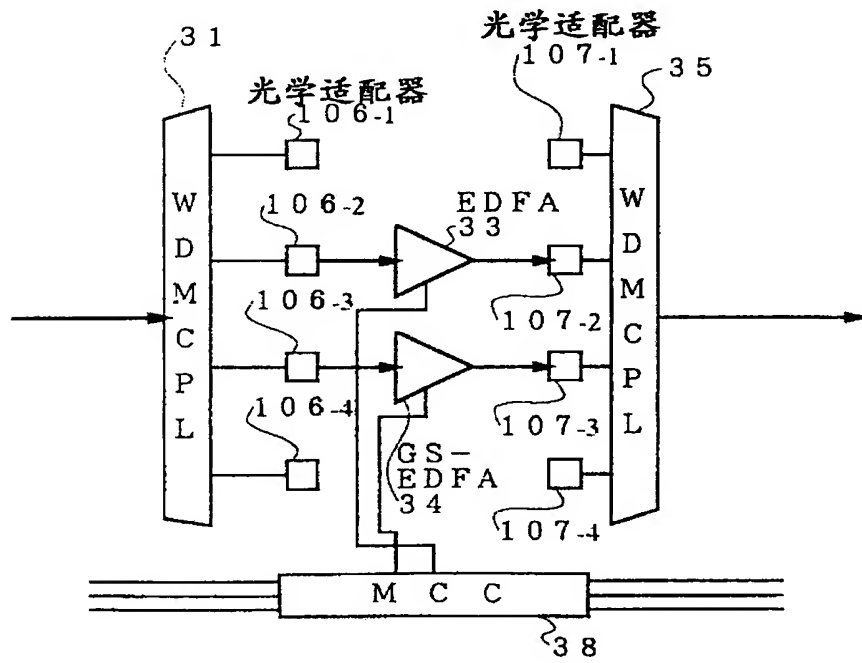


图 17
现有技术

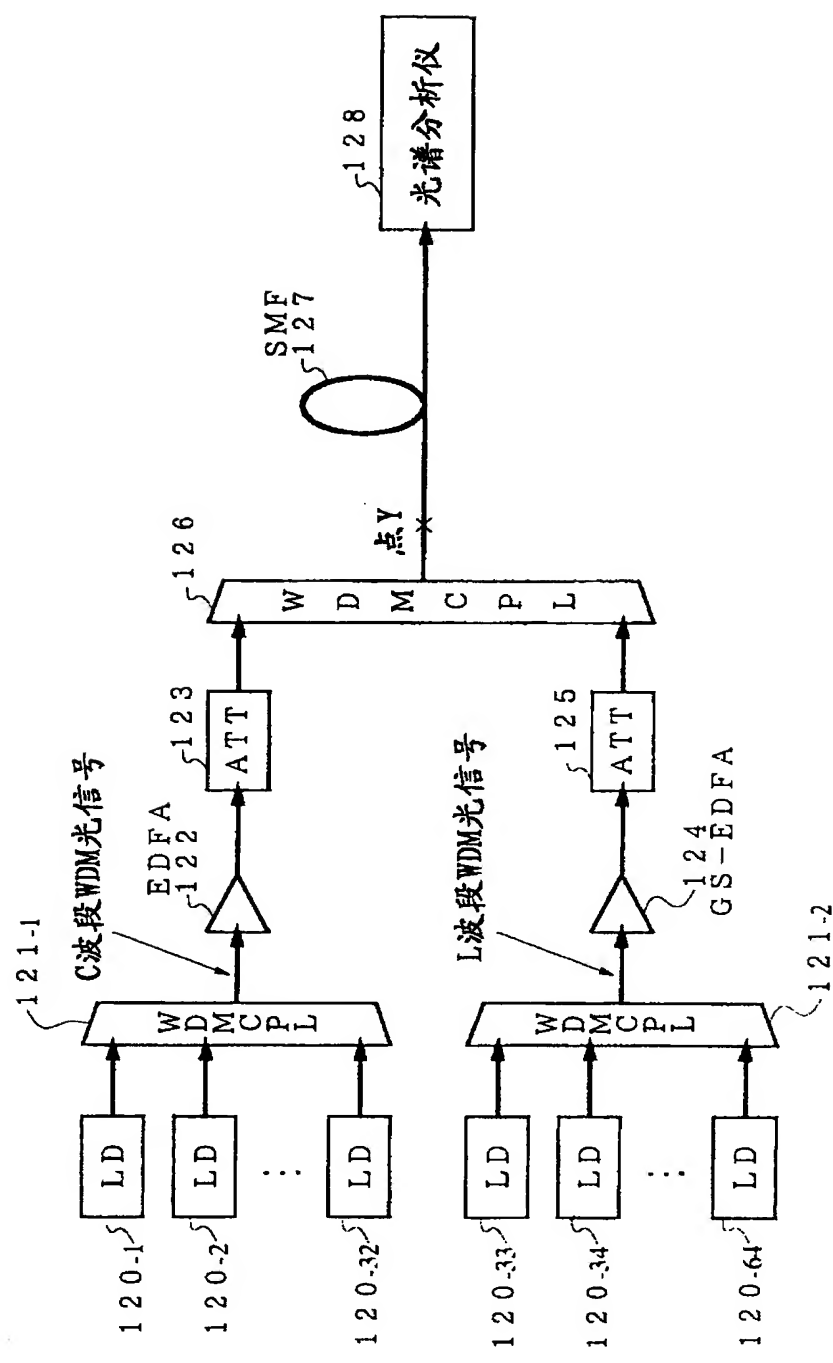


图 18
现有技术

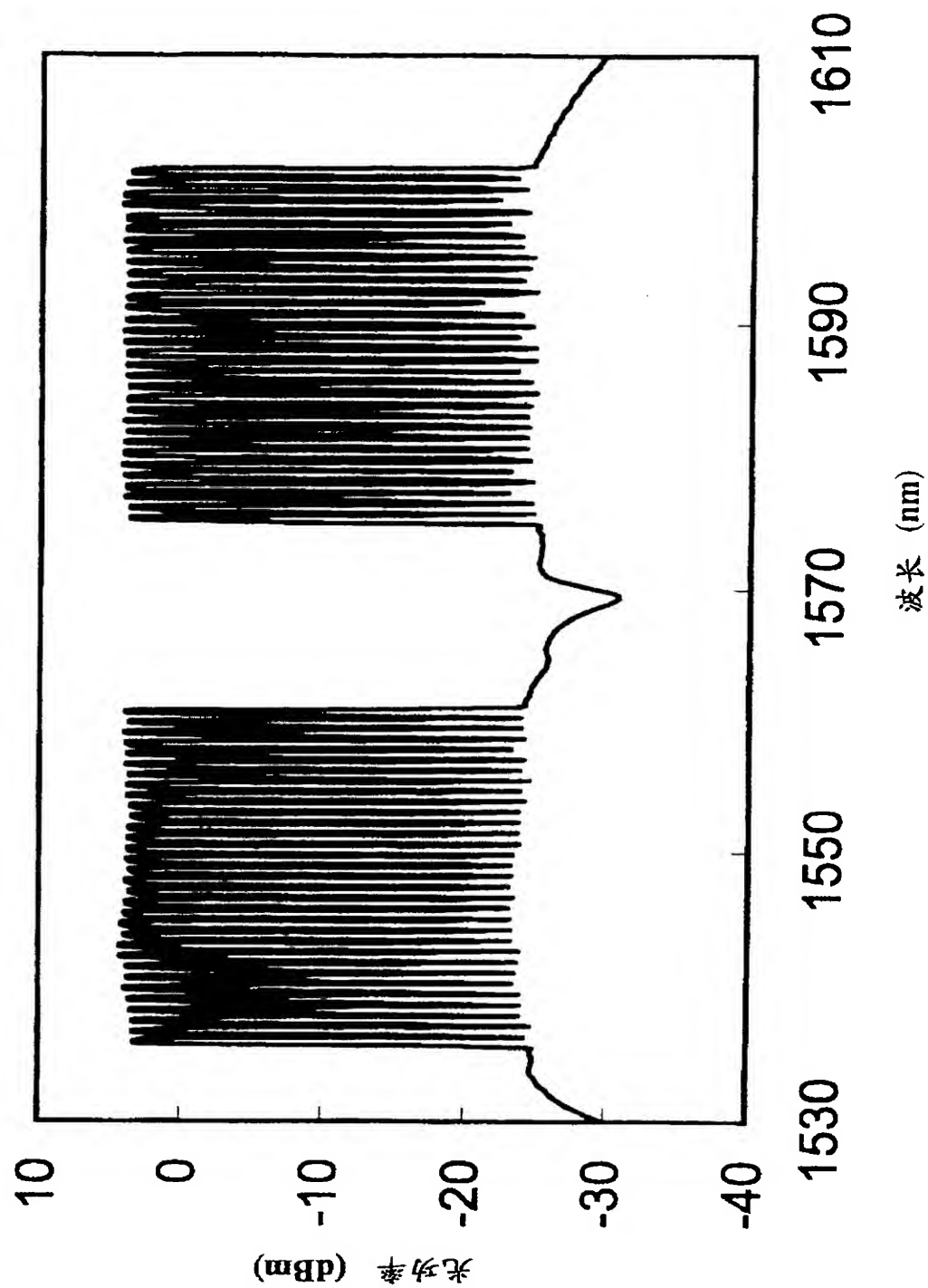


图 19
现有技术

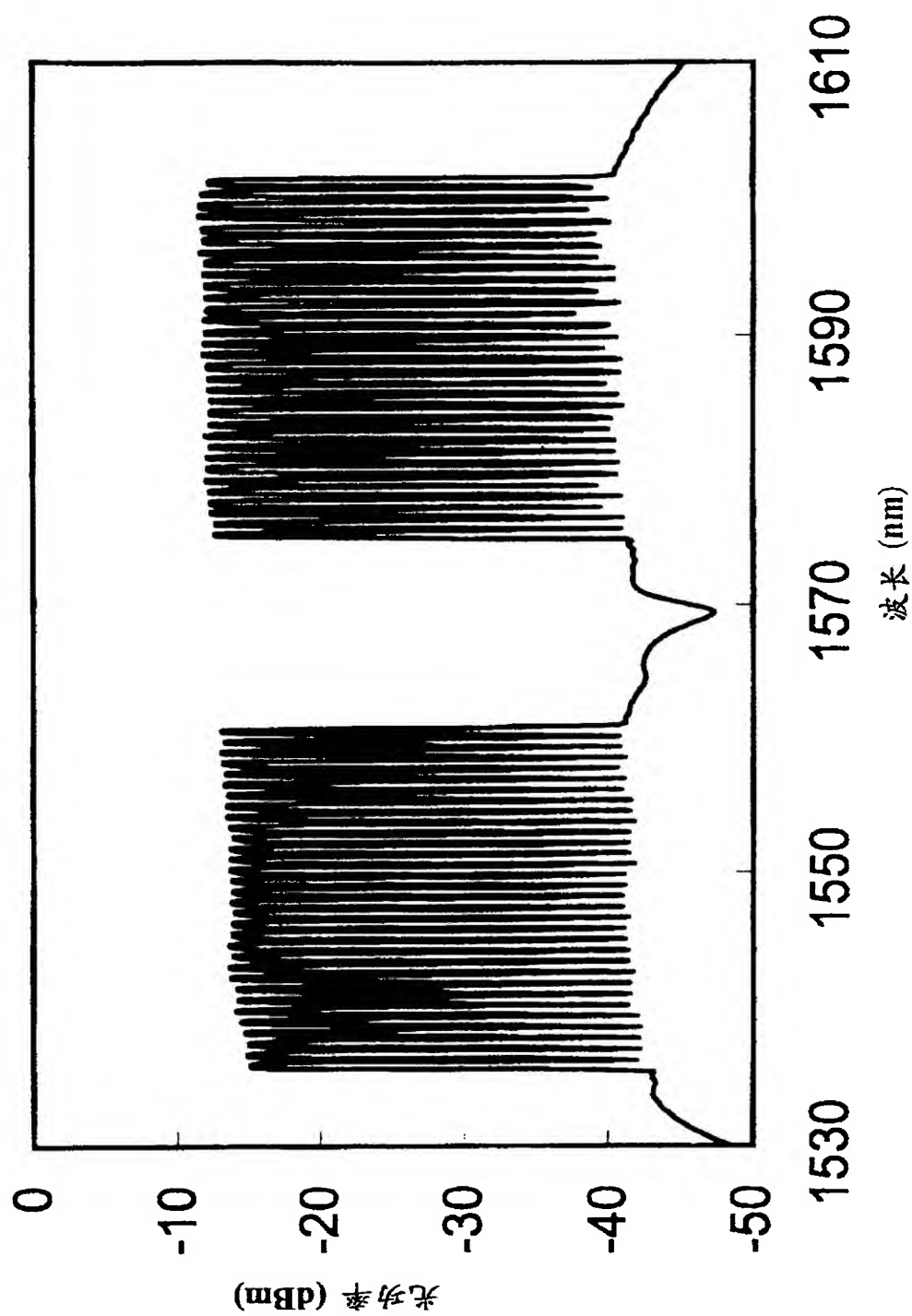


图 20
现有技术

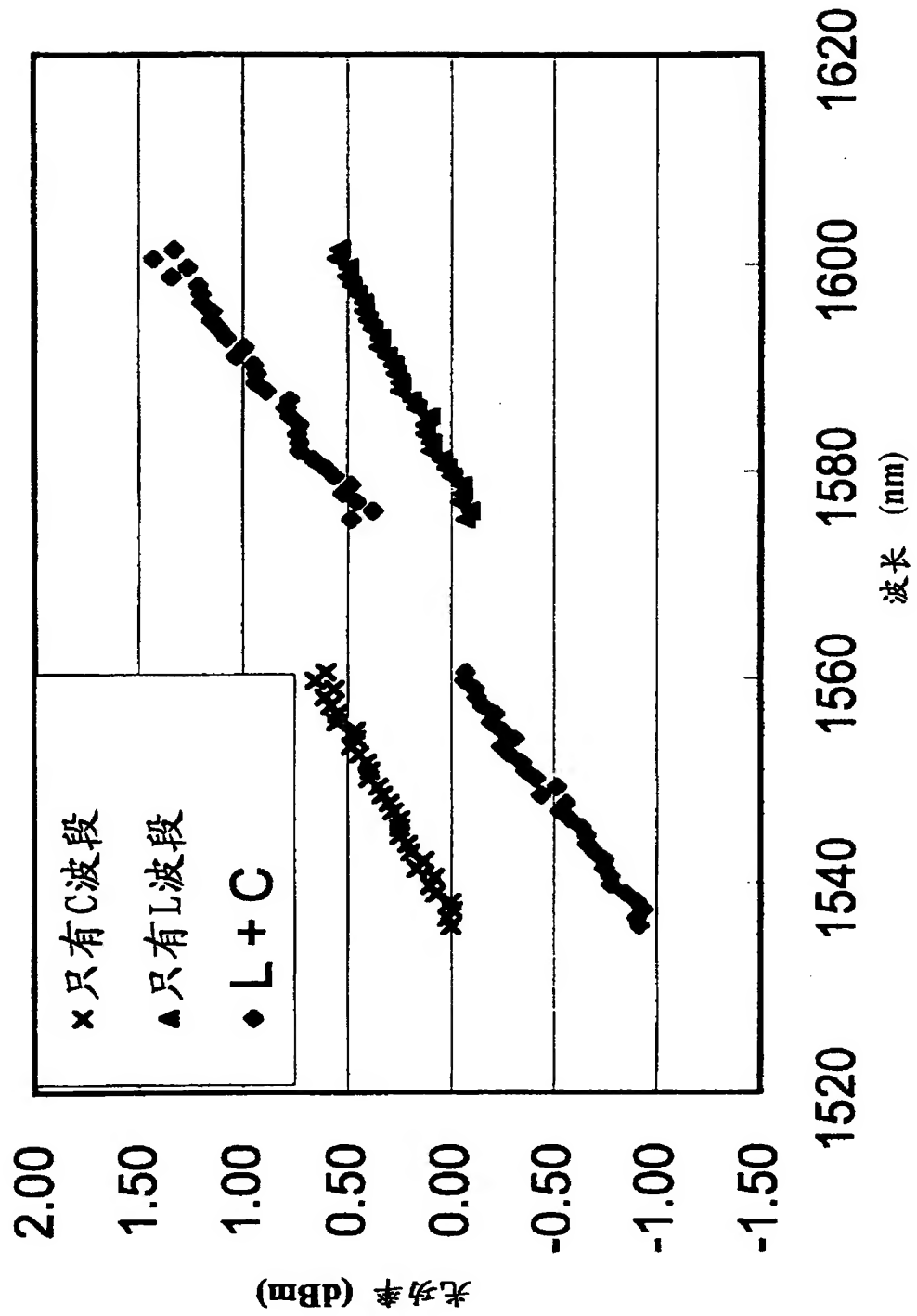


图 21 现有技术

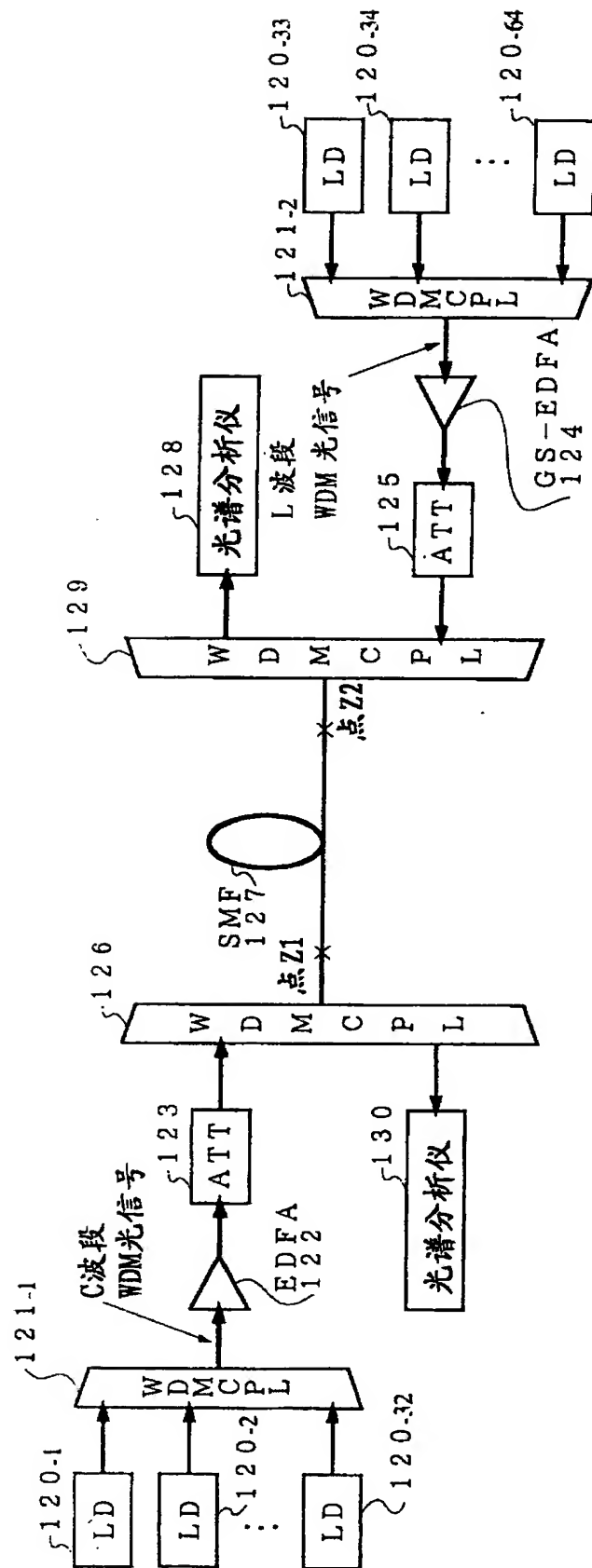


图 22
现有技术

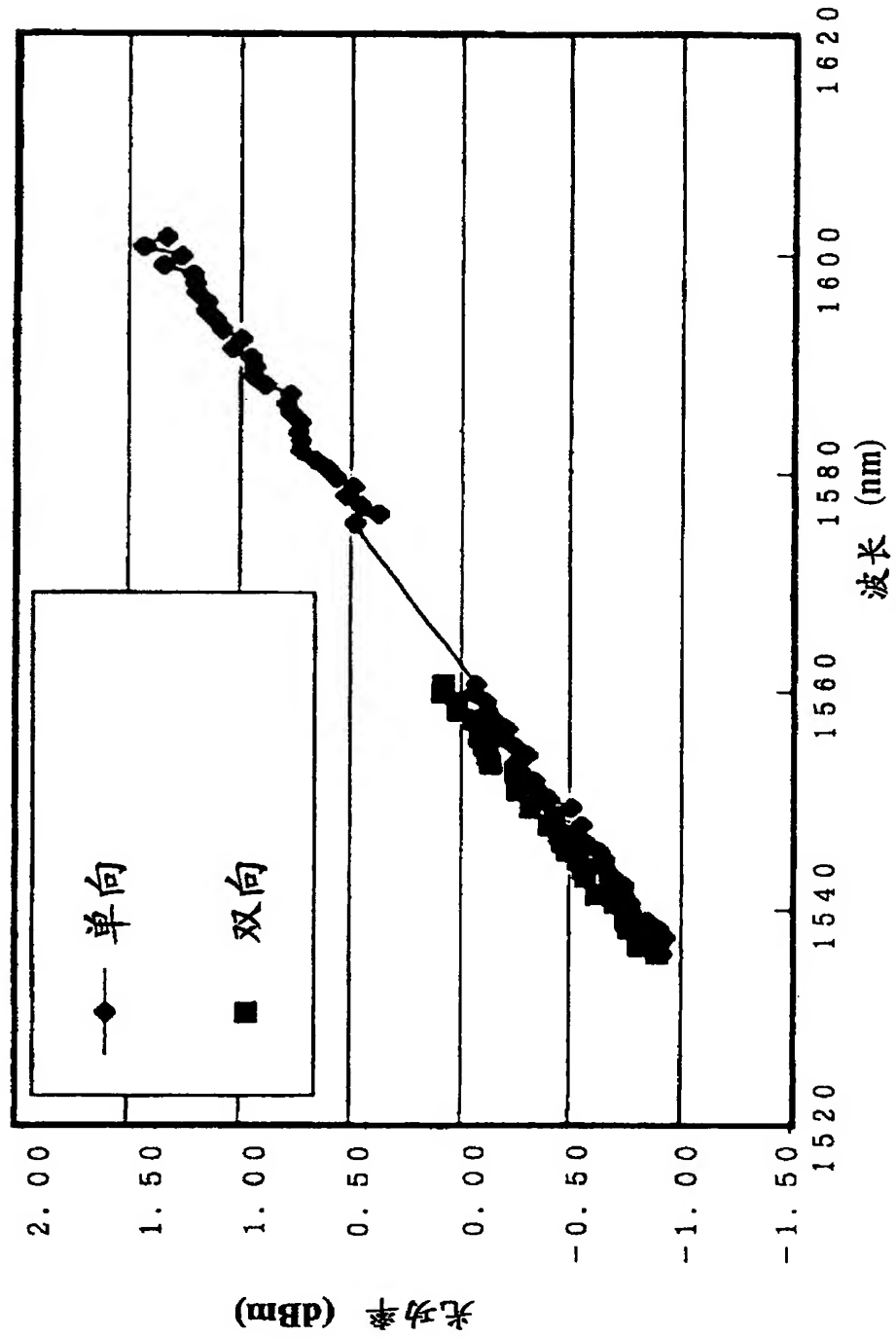


图 23

现有技术

